

بِروندا إل مونتجمري
دروس
من
النباتات
ترجمة الزهراء سامي

دروس من النباتات

تأليف
بِروندا إل مونتجمري

ترجمة
الزهراء سامي

مراجعة
شيماء طه الريدي



دروس من النباتات

بِروندا إل مونتجمري

Lessons from Plants

Beronda L. Montgomery

الناشر مؤسسة هنداوي
المشهرة برقم ١٠٥٨٥٩٧٠ بتاريخ ٢٦ / ١ / ٢٠١٧

يورك هاوس، شييت ستريت، وندسور، SL4 1DD، المملكة المتحدة
تليفون: ١٧٥٣ ٨٣٢٥٢٢ (٠) ٤٤ +
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: https://www.hindawi.org

تصميم الغلاف: يوسف غازي

الترقيم الدولي: ٣ ٢٥٢٠ ٥٢٧٣ ١ ٩٧٨

صدر الكتاب الأصلي باللغة الإنجليزية عام ٢٠٢١.
صدرت هذه الترجمة عن مؤسسة هنداوي عام ٢٠٢٢.

المحتويات

إهداء

إلى ذكرى والدي الحبيب.

الجذور المتميزة تحمل ثمارًا عظيمة.

شكر وتقدير

إذا قلتُ إنَّ هذا الكتاب قصةُ حب للنباتات، فإنَّ ذلك لا يصفُ ما يمثِّله لي على نحوٍ دقيق. إنني ممتنَّةٌ بحقٍّ لأنني تعلَّمتُ التبادل من النباتات. وأنا شاكرةٌ لأعضاء مجتمعي العلمي، الذين شاركوا معي على مدار عقودٍ معارفَهم بشأن النباتات وحماسهم لها واهتمامهم الدائم بها.

أود أن أشكر فريق التحرير الداعم في دار نشر جامعة هارفارد، والجهود المضنية التي بذلتها جانيس أوديت، التي كانت مصدر الإلهام لحلمي بأن يصبح هذا المشروع ممكنًا.

لقد كان الحافز لتقدُّمي في هذا الكتاب، الدعم الاستثنائي الذي وجدته في العديد من فضاءات الكتابة: برنامج فاكُلتي رايتينج سبيسيز ومعتكفات الكتابة التي نظَّمتها شبكة دايفرستي ريسيرش نِتورك، إضافةً إلى الفضاء الملهم، إيستونز نوك، وما يقدِّمه من دعم تحت الرعاية الدءوبة للأختَين جاكي ونادين.

أنا ممتنةٌ للغاية لأسرتي الرائعة وأصدقائي المذهلين الذين كانوا داعمين لي على الدوام. لست أدري كيف لي أن أجد ما يكفي من الكلمات لشكر شقيقتي الكبرى، رينيه. لطالما كنت أقول إنَّ مجيئك إلى الكوكب قبلي لا بد أنه كان مقصودًا. فبالرغم من أنكِ عُيِّنتِ في البداية مساعدة البحث العلمي لي في الطفولة، ثم سرعان ما طُرِدتِ من هذا المنصب؛ فقد ظللتِ صديقتي الأقرب (وقد فعلتِ ذلك ببراعة)، والمرشد الأول لي والأطول أمدًا. لقد أديتِ دور المرشد والدليل ببسالة، حتى حين كانت هذه المهمة كبيرةً للغاية ومعقَّدة. لقد مررتِ بكل تحدٍّ واجهني في حياتي تقريبًا وأنتِ بجانبي (إن لم يكن أمامي لحمايتي)، وكان الفضلُ الأكبر في تغلُّبي عليها إرشادَكِ وحكمتَكِ وصبرَكِ اللانهائي. لقد كنتِ دومًا شريكًا لي في الاحتفال بكل نصر، ومنها تأليف هذا الكتاب. ما كانت حياتي لتصبح ما هي عليه، ولا هذا الكتاب، بدونك!

وأخيرًا، من بين جميع الأشياء التي تطلعت إلى القيام بها وإتقانها، كانت أمومتي لنيكولاس هي أولويتي الأولى، وسعادتي الكبرى! كلُّ ما أنت عليه من الصفات الحميدة كان هدية لي. أشكرك يا نيكولاس لكونك ابنًا رائعًا، ومفكرًا مبدعًا وذكيًّا، وروحًا كريمة ومتعاطفة، ولكونك مصدرًا لا ينضب للإلهام بطريقتك الجريئة الواثقة التي تخطو بها في الحياة. فلتواصل التعلم، لتواصل العطاء، لتواصل النمو!

تمهيد

لم أقضِ طفولتي في مزرعةٍ أو بالقرب من غابة؛ أي إنني لم أحظَ بالتنشئة التقليدية التي كان يمكن أن تفسِّر افتتاني فيما بعد بعلم النبات. لكنني نشأت في بيتٍ مليء بالنباتات، وكانت أمي — ذات المهارة المذهلة في الزراعة — ترعاها وتراقبها بحرص.

كانت النباتات في كل مكان حولنا، داخل المنزل وخارجه. وكانت حدائق أمي درة الحي؛ كانت واحة خضراء ومأوًى دافئًا للنباتات في مدينةٍ كبيرة. تمكَّنَت أمي من تربية مثل هذه الزهور الرائعة والنباتات الخضراء اليانعة؛ لأنها كانت على ارتباط وثيق بنباتاتها المحبَّبة إلى قلبها. كانت تقرأ تلميحاتها وتستجيب لها؛ هذا النبات الذاوي يحتاج إلى المزيد من المياه، وهذا النبات ذو الأوراق المصفرة يحتاج إلى سماد، وهذا النبات الذي ينحني باتجاه الضوء الصادر من أقرب نافذة، يحتاج إلى التدوير كي يتمكَّن من إعادة توجيه نفسه. كانت رعاية النباتات جزءًا من روتين أمي اليومي، وجزءًا متأصلًا من طفولتي. كانت تراقب نباتاتها عن كثب بطريقةٍ لا يمكن وصفها إلا بقول إنها «تنصت» لها. وحين كانت أمي تلاحظ احتياجات النباتات وتمدُّها بها، كانت النباتات تستجيب بالنمو والازدهار. لا يمكنني الزعم بأنني كنت أفهم التواصل المشترك بين أمي ونباتاتها تمامَ الفهم، لكني لاحظت العائد النافع من ذلك.

وقد كانت لي بعض التجارب الخاصة التي لا تُنسى مع النباتات، كانت شبيهة على الأرجح بتجارب الأطفال الآخرين وهم يتجولون بالخارج في أيام الصيف المشمسة. وكمعظم ذكريات الطفولة، تدور هذه التجارب حول الخطر ... والأكل. من هذه التجارب حرصي على الابتعاد عن اللبلاب السام في رحلاتي الاستكشافية الطويلة مع أخي وأختي. ومنها أيضًا ثمار العُلَّيق الأسود البري الحلوة الممتلئة، التي كنت آكلها بنهمٍ في جولاتي العزيزة خلال أيام الكسل بشهر يوليو. وذلك الرحيق المجني من الزهور المسروقة من شجيرات

زهر العسل التي كانت أمي تقدِّم لها رعاية كاملة، وكان اكتشافًا نباتيًّا حلوًا. لم يكن لديَّ أدنى فكرة في ذلك الوقت أنَّ هذه الأيام المبهجة التي قضيتها في اختبار النباتات في بيئتها، ستؤدي بي في النهاية إلى مسارٍ مهني بارزٍ ومُرضٍ للنفس في عملي باحثة في النباتات.

على العكس من ذلك، كان ميلي الفطري وحبي للعلوم والرياضيات واضحًا من بداية حياتي. فبينما كان بعض أفراد عائلتي يجدون هوسي بالموضوعات العلمية والكمية غريبًا، كان ما أسعى إلى ممارسته من أنشطة «ممتعة لي» في الغالب هو الألغاز المنطقية والتجارب العلمية البسيطة. ولم يردعني أبدًا أنَّ بعض هذه التجارب لم تَسِر كما ينبغي لها ... وربما شارك فيها قسم إطفاء الحرائق المحلي أو لم يشارك! نمت اهتماماتي على نحو رسمي في المدرسة الإعدادية، حين حظيت بفرصة لتلقي دروس متقدمة في الرياضيات والعلوم. وبالرغم من أنَّ والديَّ لم يفهما مصدر هذا الاهتمام المبكِّر بالعلوم لديَّ، فإنَّ دعمهما لم يتزعزع أبدًا؛ إذ كانا يوصلانني إلى دروس الرياضيات في الجامعة المحلية بعد يومٍ كامل من العمل، ويأخذانني إلى المكتبة العامة للقيام بالبحث وجمع المواد العلمية إيمانًا بي. وبينما كان عقلي وقلبي يبدآن في العمل كما تعمل قلوب العلماء الممارسين وعقولهم، تلقيت في الكلية دورةً دراسيةً عن فسيولوجيا النبات وضعَتْني على الطريق، وحوَّلت انتباهي بالكامل إلى علم النبات. ففي هذه الدورة الدراسية، تعرَّفتُ للمرة الأولى على ذلك العلم الرائع الذي يتناول حياة النباتات.

حين دخلت مجال العلوم الأكاديمية بصفتي باحثةً في علم الأحياء، كنت مستعدةً لتجربة العديد من القواعد الأساسية في مجال البحث العلمي. توقعت أنني سأشكِّل فرضيات وأختبرها من خلال الأسئلة الكاشفة والملاحظة الدقيقة. توقعت أن أجري أبحاثًا تتسم بالتفكير التقدمي وأشرف على مثلها، وأن أرشد علماء المستقبل، وربما في مرحلةٍ ما بهذا الطريق أضيف إلى ما نعرفه عن كيفية سير العالم مساهمات جديدة وقيِّمة (مثلما كنت أرجو). غير أن ما لم أتوقَّع حدوثه هو ما جنيته من نموٍّ يبعث على التغيير والمعرفة من خلال الملاحظة المنهجية المنظمة للكائنات الحية، لا سيما النباتات.

عقب دورة فسيولوجيا النبات، بدأت في أولى تجاربي الرسمية في بيولوجيا النبات. فاستكشفت ظاهرةً تتمثَّل في أنَّ الأوراق الحديثة النمو لبعض الأشجار، ومنها بعض أنواع البَلُّوط، تتخذ اللون الأحمر الفاقع بصورةٍ عابرةٍ في فصل الربيع. وبعد الأسابيع القليلة الأولى من النمو، تتحوَّل أصباغ الأنتوسيانين المسئولة عن اللون الأحمر وتبدو الأوراق بلونها الأخضر المميز، بسبب تراكم صبغة الكلوروفيل، وهي الصبغة المسئولة عن

إجراء عملية البناء الضوئي. أجريت تجارب في الفسيولوجيا البيئية، وهي دراسة التفاعل بين البيئة وفسيولوجيا النبات؛ لفهم الغرض من هذا التراكم للصبغات الحمراء. إنَّ هذه الاستقصاءات، التي أوضحت وجود دورٍ للصبغات الحمراء كواقٍ من الشمس يحجب الضوء فوق البنفسجي إلى أن تنضج الأوراق، أدَّت إلى افتتان مستمر منذ عقود باستجابات النباتات للإشارات البيئية المتعلقة بالضوء.

قادني ولعي بالنباتات في نهاية المطاف إلى امتهان التدريس الجامعي الذي يتيح لي فرصًا لمواصلة البحث والتدريس بشأن هذه الكائنات المدهشة. وقد تعلمت في كلٍّ من قاعة الدرس والمختبر مدى أهمية الإرشاد والقيادة في سعيي للنجاح. فنظرًا لأنني لم أتلقَّ تعليمًا رسميًّا منهجيًّا في أيٍّ من هاتَين المهارتَين في مسيرتي الأكاديمية، بدأت أبحث عن مصادر وفرصٍ لتحسين مهاراتي في الإرشاد والقيادة في مجال العلوم، وكذا تحسين وسائل مشاركة الرؤى مع الآخرين في مجتمعي، المهتمين أيضًا بتنمية هذه المهارات لديهم. وكان هدفي الأساسي في هذه العملية هو أن أكون حاضرةً تمامًا في حيزي وحياتي وفي الفرص التي تُتاح لي؛ ذلك أنني أحترم أهدافي وإنسانيتي تمامًا، حتى مع حرصي على امتلاك المهارات اللازمة لتقديم كامل الدعم لمَن أتفاعل معهم واحترام إنسانيتهم أيضًا. لقد انبثق العمل الأكاديمي الذي طوَّرته في دراسة وإرساء بُنى الدعم من أجل تقديم الإرشاد والقيادة الفعالين، من ملاحظتي الدقيقة للأنظمة الأكاديمية والعلمية ووظائفها (وما بها من خلل أيضًا). من خلال دراستي لهذه الأنظمة، اتضح لي أنَّ بعض المبادئ الحيوية التي نعرفها بأنها تساهم في أداء الأنظمة البيئية الطبيعية لوظائفها، تنطوي على دروس عظيمة للممارسات الفعَّالة والمنصفة في مجالَي الإرشاد والقيادة.

بالرغم من أنَّ العديد منَّا يعرفون حقائق متنوعة عن الدور الجوهري للنباتات في دعمنا، مثل حقيقة أنها تطلق الأكسجين الداعم للحياة، وتوفِّر لنا التغذية في صورة الخضراوات والمكسرات والفاكهة، فإنَّ أكثر ما يبهرني حقًّا هو ما تفعله النباتات بصورة مستقلة، بعيدًا عن أي صلة لها بالبشر في معظم الأحيان. إنَّ النباتات تتواجد وتزدهر في العديد من الأماكن التي تبدو غير صالحة للسكنى على الكوكب، مثل الأشجار التي تنمو من صخور وتميل على المحيط، والشتلات التي تنبثق من جديد بعد شتاء ميشيجان القارس، والنباتات التي تنمو من بين أسفلت ممر السيارات، الذي كنت أظنه غير قابل للاختراق. للنباتات حيواتها الديناميكية القوية والمعقَّدة التي يمكن أن نتعلم منها الكثير من الدروس القيمة.

فمثلما سترى في هذا الكتاب، تعيش النباتات وتزدهر في بيئات متنوعة، وتصوغ علاقات تكافلية، وتتعاون وتتواصل وتساهم في مجتمعاتها.

لقد تعلمت الكثير عن «الوجود» في هذا العالَم من خلال دراساتي على النباتات. وفي هذا الكتاب أقدِّم رحلةً مشابهةً تتمثَّل في التعرُّف على الاستراتيجيات والسلوكيات التي تقوم بها النباتات بصورةٍ فرديةٍ وجماعية، والتي تؤدي إلى وجود كائنٍ حيٍّ منتِجٍ قادرٍ على التكيُّف، وكيفية التعلُّم منها. إنَّ ذلك النوع من المعرفة والاندماج هو الذي يمكن أن يساعدنا — نحن البشر — في تقديم دعم أفضل لأنفسنا وللكائنات الحية الأخرى من حولنا.



«إنَّ خبرة البشر في كيفية العيش هي الأقل على الإطلاق، وبذا يكونون أكثر مَن ينبغي عليهم التعلم؛ علينا أن نبحث عن الإرشاد بين الأنواع الأخرى. فحكمة هذه الأنواع تبدو جلية في الطريقة التي تحيا بها. فهي تعلِّمنا من خلال المثال والقدوة.»

روبين وول كيمرَر
«جدائل الجليساريا»

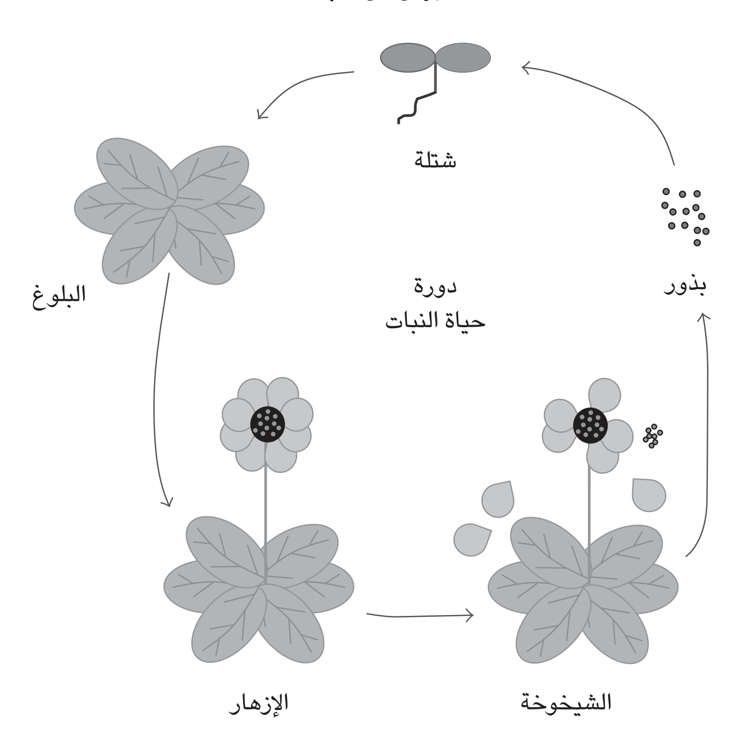
مقدمة

شعور بالذات

تخيَّل حياةً لا بد فيها من ضبط وجود المرء بأكمله وتصميمه بما يتلاءم مع البيئة المتغيرة والقاسية في بعض الأحيان. حياة لا سبيل فيها للهرب. تلك هي حياة النبات. من الصعب علينا نحن البشر أن ندرك كُنْه هذا النوع من الوجود. فبالرغم من أننا عادةً ما نصمد أمام محنةٍ قصيرة الأمد لأننا نمتلك الآليات الفسيولوجية للتعامل مع مصادر الإزعاج الثانوية مثل شدة الحرارة (التعرُّق) أو شدة البرودة (الارتجاف)، فإننا نستطيع، إذا استمرَّت مثل هذه الظروف أو صارت أكثر قسوةً، أن نختار اقتلاع جذورنا والانتقال إلى مكانٍ مختلفٍ علَّه يكون أفضل.

أما النباتات فلا تمتلك ذلك الخيار.

ونظرًا لأنَّ النباتات لا تستطيع التحرُّك عمومًا خلال دورة حياتها، فعليها إذا كان لها أن تنموَ وتزدهر في بيئات ديناميكية، أن تمتلك حسًّا مرهفًا بما يجري حولها، مع القدرة على الاستجابة بطريقة ملائمة. فالإحساس بالبيئة ضروري للغاية من بداية الحياة. فالأرض التي تستقر فيها البذرة وتنبت تحدِّد البيئة المحيطة التي سيقضي فيها النبات الناشئ حياته بأكملها. إنَّ إنبات البذور هو البداية لدورة حياة النباتات الحاملة البذور. تنبثق الشتلة من البذرة، ثم ينضج النبات ويصل إلى مرحلة البلوغ. وبعد فترةٍ من النمو الخضري، يدخل النبات مرحلة التكاثر التي ينتج فيها الزهور. تشهد المرحلة التالية تطورًا من الإزهار إلى تكوين البذور. وبعد إطلاق البذور الناضجة، يدخل النبات العجوز مرحلة



تبدأ حياة النبات الحامل للبذور حين تنبت البذرة استعدادًا للتحوُّل إلى شتلة. ينضج النبات ليصل إلى مرحلة البلوغ ويمر بتحوُّل ثانٍ؛ إذ يصل إلى مرحلة الإزهار. يتطوَّر النبات بعد ذلك من مرحلة الإزهار إلى مرحلة تكوين البذور. وبعد إطلاق البذور الناضجة، يدخل النبات العجوز في مرحلة الشيخوخة التي قد تسقط خلالها البَتَلات والأوراق.

الشيخوخة التي قد يفقد خلالها البَتَلات والأوراق. في بعض الأنواع، تموت أفراد النباتات بعد التكاثر، بينما تمر في بعضها الآخر بدورات تكاثر متتالية.[1]

وبالرغم من أنَّ النباتات موجودة حولنا في كل مكان، فإنَّ معظمنا لا يعرف سوى أقل القليل عن قدراتها المذهلة على التنبؤ بالظروف المتغيرة باستمرار، والاحتماء منها، والتأقلم عليها. في بعض الأحيان، يُشار إلى انعدام القدرة على ملاحظة النباتات وإدراك أدوارها في الأنظمة البيئية التي نسكنها بما يكفي بمصطلح «عمى النباتات».[2] صار هذا المصطلح محل خلاف على نحوٍ متزايد؛ لأنه يستند إلى استعارة تتعلَّق بإعاقة؛ أي إنه يعكس نمطًا

من التفكير الذي يَعتبر العمى عجزًا.[3] وبدلًا من ذلك، يمكن التعبير عن هذه النزعة إلى إغفال النباتات بمصطلح «التحيز ضد النباتات». فقد أوضحت الأبحاث التجريبية والاستبيانات بالفعل أنَّ البشر يفضِّلون الحيوانات على النباتات، وأكثر ميلًا إلى ملاحظتها أو تذكُّرها.[4] نحتاج أيضًا إلى مصطلح مصاحب يشجِّع على تعميق الوعي بالنباتات المحيطة بنا وتقدير أهميتها؛ وفي ذلك يستخدم البعض مصطلح «تقدير النباتات»، لكني أفضِّل مصطلح «الوعي بالنباتات».[5] ولا تقتصر أهمية الحد من التحيز ضد النباتات وزيادة الوعي بها على النباتات فحسب، فهما أمران مهمان للبشر أيضًا، مهمان لصحتنا الجسمانية والذهنية والفكرية.

إنَّ الهدف من هذا الكتاب هو زيادة الوعي بالنباتات، والحد من التحيزات المحتملة ضد النباتات، إضافةً إلى التعريف بحكمة النباتات وما يمكن أن نتعلمه منها.

من الموضوعات التي سنستكشفها كيفية شعور النباتات ببيئتها واستجابتها لها. إذا أوليت انتباهًا أكبر إلى النباتات المحيطة بك، فسترى العديد من الأمثلة على ذلك. لعلك قد رأيتَ أحد النباتات المنزلية يمتد باتجاه الضوء القادم من نافذة. إن هذا النبات يُظهِر أحد سلوكيات التكيُّف النشطة ألا وهو: الشعور بالضوء والسعي نحوه. فنظرًا لأنَّ النباتات تستخدم الضوء لإنتاج غذائها (في هيئة سكريات) من خلال عملية البناء الضوئي، تنحني للحصول عليه.[6]

ومن الأمثلة الأخرى على ذلك، سقوط أوراق شجر القيقب في فصل الخريف. فهذا سلوك موسمي لحفظ الطاقة؛ فسيكون من المكلف للشجرة أن تحتفظ بأوراقها خلال الشتاء. أما سقوط الأوراق، فيتيح للشجرة الصمود والاستمرار في حالة أيضٍ أهدأ. وذلك اللون الزاهي الرائع الذي يظهر قبل سقوط الأوراق (نتيجة تكسُّر صبغة الكلوروفيل الخضراء) هو مثال على نوع السلوكيات المعقدة التي تقوم بها النباتات استجابةً للإشارات البيئية.[7]

إنَّ سقوط أوراق شجرة القيقب في الخريف يختلف من ناحية مهمة عن انحناء نبات منزلي باتجاه الضوء. فجميع أنواع النباتات تتسم بأساليب تكيفية موروثة — مثل شكل مميز للورقة أو دورة حياة فصلية في مقابل دورة حياة دائمة الخضرة — تطورت بمرور الزمن وصارت ثابتة وراثيًّا تُمرَّر من جيل إلى جيل. غير أنَّ النباتات تُظهِر أيضًا أساليبَ تكيفية بيئية ليست ثابتة وراثيًّا، بل تظهر في جيل واحد أو حياة واحدة، ولا تُورَّث عادة. تُوجَّه هذه التغييرات التي تحدِّدها البيئة من خلال الجينات التي يتم التعبير عنها، أو

المستخدمة بالفعل. وتتضمن تغيرات في النمط الظاهري للنبات (سماته الملحوظة)، مثل حجم الورقة أو سُمكها أو لونها أو اتجاهها، أو طول الساق أو سُمكها، وذلك بناءً على إشارات بيئية متغيرة. ويُعرف هذا النوع من التغير في الهيئة أو الوظيفة استجابةً للظروف البيئية الديناميكية باسم: مرونة النمط الظاهري.[8]

لا يقتصر شعور النباتات واستجابتها على الظروف البيئية؛ بل يمتد شعورها ليشمل النباتات والكائنات الأخرى المحيطة بها. يمكن أن نسمي النباتات بـ «الجيران المتطفلين». فالنباتات تعرف «أين» توجد من خلال الاستشعار البيئي، وتعرف «مَن» يوجد حولها أيضًا. وتساعدها هذه المعرفة على اتخاذ قرارات بشأن اختيار التعاون أو التنافس. فلن تتنافس النباتات مع نبات مجاور على مصدر ضوء الشمس إلا إذا كان ذلك منطقيًّا؛ أما إذا كان هذا الجار أطول كثيرًا بالفعل، ومن غير المحتمل أن تنجح المنافسة، فسوف تتجنَّبها. وفي بعض الحالات، كما سنرى، قد تتعاون بالفعل للحصول على ضوء الشمس. يمكن للنباتات أيضًا أن تكتشف الاستجابات البيئية التي تصدر عن جيرانها، مما يُمكِّنها من توسيع نطاق وعيها بالإشارات والتغيرات البيئية. بل في بعض الأحيان تُغيِّر سلوكها بناءً على ما إذا كانت تجمعها بجيرانها صلة قرابة أم لا.

إنَّ النباتات تستقبل الإشارات الداخلية والخارجية على حد سواء وتستجيب لها، ويبدو أنها تدرك تنوُّع الأنظمة البيئية، أي إنها تستطيع إدراك نطاق أفراد النباتات الموجودة حولها، وما تصدره هذه النباتات المجاورة من استجابات للإشارات البيئية. تراقب النباتات التغيرات الخارجية، ثم تبدأ في إنشاء مسارات الاتصال الداخلية الخاصة بها لتنسيق استجابتها لهذه الظروف الديناميكية.[9] قد تكون هذه الإشارات التي تستجيب لها لا أحيائية، أو إشارات غير حية، مثل المعلومات عن درجة الحرارة أو توافر الضوء أو المياه أو المغذيات. تعمل الإشارات الأحيائية، وهي تلك الإشارات الصادرة عن كائنات حية أخرى، أيضًا كإشارات قوية؛ فهي تمكِّن النبات، على سبيل المثال، من تجهيز دفاع ضد الافتراس، أو آكلات النباتات أو العدوى البكتيرية أو الفيروسية. فحين تتعرَّض بعض النباتات لهجوم من الحشرات، تنتج مركَّبات تثبط هضم الحشرات المهاجمة؛ فتحد بذلك من وقوع ضرر أكبر.[10]

ثمة احتمال أيضًا بأن يكون لدى النباتات شكل من أشكال الذاكرة. في بعض الحالات، تظهر هذه الذاكرة بفعل التغيرات ما فوق الجينية. تُعدِّل التغيرات ما فوق الجينية الجينات التي يتم تنشيطها أو التعبير عنها، لكنها لا تغيِّر الشفرة الوراثية نفسها. ويمكن لمثير

بيئي أن يتسبَّب في ظهور «فلاج» جزيئي من نوعٍ ما، للتحكم فيما إذا كان أحد الجينات سيُستخدم لإنتاج بروتين أم لا. وهذا التغيير في تنظيم البروتين يعدِّل بعد ذلك في النمط الظاهري للنبات. تنتقل هذه التغيرات فوق الجينية في بعض الأحيان إلى الأجيال التالية. غير أنَّ ما تتخذه البيئة من آليات دقيقة وأدوار محدَّدة في التحكم ما فوق الجيني العابر للأجيال في النباتات لا يزال قيد الدراسة.[11]

يُعد التنشيط بالبرودة من أشهر الأمثلة على ذاكرة النباتات؛ ويتمثل في أنَّ بعض النباتات لا تزهر إلا إذا تعرضت لفترة طويلة من البرودة. فالنبات «يتذكَّر» برد الشتاء كإشارة إلى أنَّه ينبغي له أن يزهر في الربيع. تتجلى الذاكرة أيضًا في بعض النباتات المتتبِّعة للشمس، مثل عباد الشمس والخبازة اللينية؛ إذ تستدير باتجاه الشروق قبل الفجر.[12]

تستخدم النباتات الإشارات الداخلية والخارجية إضافةً إلى السلوكيات التكيُّفية ووضع ميزانية للطاقة لتحقيق الاستفادة القصوى من البيئة التي تنمو فيها. فعملية البناء الضوئي تستلزم وجود الضوء والكربون غير العضوي (في صورة ثاني أكسيد الكربون)، والمياه، كما تحتاج النباتات أيضًا إلى المغذيات مثل الفوسفور والنيتروجين. فلا غرابة إذن في كونها شديدة الحساسية لتوافر هذه الموارد، ووضعها ميزانيتها بحرص. فلكي تتمكَّن النباتات من صنع غذائها، تُخصِّص الطاقة لنمو الأوراق اللازمة لحصد ضوء الشمس. بعد ذلك، تقوم بتحويل طاقة الضوء المحصود إلى طاقة كيميائية (سكريات)، وذلك باستخدام الماء وثاني أكسيد الكربون. في الوقت نفسه، تحدُّ من الاستخدامات غير المنتجة من الطاقة. ففي حالة توافر كمية ملائمة من الضوء، على سبيل المثال، تخصِّص النباتات الطاقة لبناء الأوراق بينما تصرفها عن إطالة السيقان.

تُظهِر النباتات أيضًا استجابات تكيفية مضبوطة على نحوٍ دقيق في حالة نقص المغذيات. قد يستطيع البستانيون تمييز الأوراق الصفراء كعلامة على نقص المغذيات والحاجة إلى السماد. ولكن إذا لم يكن للنبات راعٍ يمده بالمعادن المكمِّلة، فيمكنه نشر أو إطالة جذوره وتكوين شعيرات جذرية ليتمكن من البحث في بقاعٍ أبعد من التربة. يمكن للنباتات أيضًا أن تستخدم ذاكرتها في الاستجابة لأحداث ماضية من التنوُّع المكاني أو الزماني في توافر المغذيات أو الموارد.[13] وقد أوضحت الأبحاث في هذا المجال أنَّ النباتات تكون مدركةً على الدوام لموقعها في البيئة، من حيث الزمان والمكان على حد سواء. فالنباتات التي اختبرت توافر العديد من المغذيات المختلفة في الماضي، عادةً ما تتسم بسلوكيات المخاطرة، مثل تخصيص الطاقة لإطالة الجذور بدلًا من إنتاج الأوراق. في المقابل، تعزُف

النباتات التي لا تتمتع بتاريخٍ من وفرة المغذيات عن المخاطرة وتنزع إلى حفظ الطاقة. إنَّ النباتات في جميع مراحلها التطورية تستجيب للتقلُّبات أو التباينات البيئية؛ لكي تتمكَّن من استخدام طاقتها للنمو والبقاء على قيد الحياة والتكاثر، مع تقليل الضرر والاستخدامات غير المنتجة لطاقتها الثمينة.[14]

إنَّ هذه الأنواع من الاستجابات معًا، تشير إلى قدرة النباتات على التعلُّم والتذكُّر؛ هذا إذا نظرنا إلى التعلُّم باعتباره تغييرًا في السلوك بناءً على التذكُّر النشط، ونظرنا إلى الذاكرة باعتبارها تواصلًا خلويًّا بشأن التجارب السابقة.[15]

ولَمَّا كانت النباتات تُظهِر نوعًا من الوعي والذاكرة، فيمكن أن نعتبر أنها تعرف «مَن» تكون و«ماذا» تكون. وتنتقل من هذه المعرفة بالذات حتى تصل إلى مرحلة «الوجود». ومرحلة الوجود تلك هي التي تتعرَّف فيها النباتات على أنماط بيئتها وتستجيب لها وتؤثِّر فيها. بعبارة أخرى، تبذل النباتات غاية وسعها للبقاء على قيد الحياة، مع إجراء تقييم كامل لاحتمالية النجاح، بناءً على البيئة المحددة التي توجد فيها.

ولهذا، فبالرغم مما قد يبدو للعَيْن غير المطلعة من أنَّ النباتات «تقبع في مكانها» فحسب، فإنها تبدي سلوكياتٍ تتسم بالوعي والذكاء بدايةً من أولى مراحل نموها وحتى الشيخوخة أو الموت. لقد طوَّرت النباتاتُ قدراتٍ استثنائية لتشعر بما يجري حولها وتضبط نموها وتطورها وفقًا للإشارات البيئية لتحقيق الإنتاجية القصوى والبقاء على قيد الحياة. وبسببِ ما تقوم به النباتات من الاستكشاف والمراقبة المستمرَّين، يذهب الفيلسوف مايكل ماردر إلى أنه ينبغي ألَّا ننظر إليها أبدًا باعتبارها جامدةً وسلبية؛ فالمكان الذي يشغله النبات «ينبثق على نحوٍ ديناميكي من التأويل الحي الذي يجريه النبات لبيئته وتفاعله معها.»[16]

وسواء كنا ننظر إلى النباتات باعتبارها كائناتٍ واعية أو ذكية، فإنَّ كل مفهوم منهما يكمن وراءه تقديرٌ عام لسلوك النبات. وقد صارت فكرة أنَّ النباتات «تتصرف»، ولا توجَد أو تنمو على نحوٍ سلبي فحسب، تحظى مؤخرًا بالقبول على نطاق أوسع بين علماء الأحياء. غالبًا ما يتبدى سلوك النباتات في الطريقة التي تنمو بها، مثل نموها بمعدل مختلف أو في اتجاه معيَّن. ولأنَّ النباتات تنمو ببطء، فإنَّ نشاطها يحدث على نطاق زمني يختلف عن نوع الحركة الذي نسميه «السلوك» في الحيوانات.

من العوائق الأخرى التي تحول دون قبول فكرة السلوك النباتي، الاعتقاد الراسخ بأنَّ السلوك لا يمكن أن يصدُر إلا من كائنات تمتلك جهازًا عصبيًّا مركزيًّا، وهو ما تفتقر

إليه النباتات. غير أنَّ العلماء بدءوا يفهمون السلوك على نطاق أوسع باعتباره وصفًا للقدرة على جمْع المعلومات عن الظروف الداخلية والخارجية للبيئة، ودمج هذه المعلومات ثم استخدامها لتغيير الإشارات الداخلية أو مسارات التواصل (الشبكات العصبية لدى الحيوانات ومسارات نقل الإشارات في كائنات على غرار النباتات)، مما يؤدي إلى تغيرات في النمو أو في تخصيص المغذيات وغيرها من الموارد. وفي ظل هذا الفهم، صارت فكرة أنَّ النباتات لها «سلوك» أكثر قبولًا.

والآن، بعد أن نُقرَّ بأنَّ النباتات تُصدِر سلوكيات معينة، هل يعني هذا أنها قادرة أيضًا على «الاختيار» و«اتخاذ قرارات» وأن يكون لها «نوايا»؟ يتفق معظم علماء النبات على أنَّ القدرة على التمييز بين إشارات متعددة، وتغيير السلوك بصورة انتقائية وفقًا لإشارةٍ ما دون أخرى، هو دليل على اتخاذ القرارات. ويرى مايكل ماردر أنَّ النباتات أيضًا تمتلك نوايا، وإن كانت تختلف عن النوايا لدى الحيوانات: «حين تنوي الحيوانات شيئًا، فهي تنفِّذ نيتها من خلال تحريك عضلاتها، أما حين تنوي النباتات شيئًا، فإنها تعبِّر عن نيتها من خلال النمو الجزيئي ومرونة النمط الظاهري. فسلوكيات الحيوانات والنباتات هي تحقيق للأهداف المحدَّدة في تصرفاتها القصدية ذات الصلة.»[17]

أما السؤال التالي، الذي يتعلق بما إذا كانت هذه القدرات تدل على امتلاك النباتات للذكاء أو الوعي، فهو موضوع يجمع بين المؤيدين المتحمسين، ومجموعة أخرى، ربما تكون أكبر، من الرافضين. ثمة مجموعة أخرى تبقى على الحياد من هذا وذاك؛ إذ ترى أنَّه لا يلزم أن تتمتَّع النباتات بالوعي أو الذكاء لكي تُرى جديرة بالدراسة والإعجاب.[18] وسواء أكانت النباتات تمتلك إدراكًا — وهو القدرة على الإحساس بما يدور حولها والاستجابة بناءً على ذلك — أم وعيًا — وهو القدرة على الإدراك النشط لقرارٍ ما بشأن استجابة محدَّدة، وتأمله، وتعيين معنًى له — فإنَّ التعقيد الذي تتسم به النباتات وقدراتها على استشعار المثيرات البيئية ودمجها والاستجابة لها، صارت تحظى بقبول متزايد. إضافةً إلى ذلك، فبالرغم من أنَّ الخلاف لا يزال موجودًا، وربما معارضة في بعض الحالات، بشأن اعتبار النباتات كائنات ذكية، هي وغيرها من الكائنات التي لا تتمتع بدماغ معقَّد، مثل النمل والنحل، فثمة اتفاق متزايد على أنَّها يمكن أن تبدي سلوكيات ذكية تمكِّنها من الاستجابة للبيئات الديناميكية، سواء أكانت هذه الاستجابة فردية أم جماعية.

إنَّ الدليل على أنَّ النباتات تقوم بخيارات تكيفية، وهي سلوكيات تزيد من نجاحها وقوَّتها، لهو جدير بالتأمُّل العميق، ويمكن أن يقدِّم للبشر دروسًا ثمينة. فعلى غرار جميع الكائنات

الحية، عادةً ما تتخذ النباتات قراراتٍ تبدو نافعة على نحوٍ واضح، لكنها قد تقوم أيضًا بسلوكيات قد نعتبرها سيئة؛ إما لأنها غير تكيفية للنبات نفسه، وإما لأنها تضر بالآخرين. يعتقد علماء الأحياء أنَّه، مع بعض الاستثناءات، عادةً ما تكون الخيارات التي يتخذها النبات نافعة لبقائه وتكاثره؛ إذ إنه على مدار الزمن التطوري، سيكون للنباتات التي اتخذت خيارات أفضل، نسلٌ أكبر من نسل النباتات التي اتخذت خيارات أسوأ. ولكن أحيانًا ما يكون الخيار الجيد لأحد الأنواع، سيئًا لنوع آخر. فبعض النباتات، على سبيل المثال، تستطيع إلحاق الضرر بجيرانها من خلال إطلاق مركَّبات كيميائية أو باحتلال النظام البيئي بأكمله. وغالبًا ما يؤدي تبنِّي الاستراتيجية الثانية إلى تصنيف النباتات كنباتات اجتياحية، مثل نبات الكودزو، الذي يمثِّل مشكلة أساسية في النظام البيئي في جنوب شرق الولايات المتحدة؛ إذ حل محل النباتات الأصلية وأضرَّ بالحشرات المحلية وغيرها من الحيوانات.[19]

وبالرغم من الضرر الذي يمكن أن تتسبَّب فيه النباتات في بعض الأحيان، فإنَّ سلوكياتها غالبًا ما تفيد في ازدهارها، وكذلك ازدهار المجتمعات التي تعيش فيها. وفي الصفحات القادمة، سوف نستكشف العديد من هذه السلوكيات. والحق أنَّ ملاحظة الطريقة التي تحيا بها النباتات في بيئتها يمكن أن تعلِّمنا الكثير جدًّا. ومن الجدير بالملاحظة أنَّ المعرفة بالنباتات والدروس التي نستخلصها من هذه الكائنات عن «الوجود»، تخبرنا بأنك تزدهر أو تعاني وفقًا لقدرتك على معرفة مَن تكون، والمكان الذي توجد فيه، وما يُفترض بك أن تفعله. بعد ذلك، يكون عليك أن تجد طريقة لتنتقل من هذا «الشعور بالذات» إلى الشعور بمحيطك ثم السعي نحو غايتك، وهي مهمة قد تكون عسيرة إذا كنت مجهدًا أو في خطر أو تحوَّلت عن غايتك المتأصلة أو المغروسة فيك، أو غايتك التي تكيَّفت عليها. وحين تكون النباتات في حالة إجهاد، فإنها تستخدم بعض الطرق لتحسين فرصتها في التعافي من الإجهاد ومواصلة النمو. وإذا كان للنبات راعٍ لديه القدرة على تمييز علامات الإجهاد، فيمكن لهذا الراعي أن يمدَّه بالمساعدة اللازمة.

إنَّ جميع الأنشطة التي تنخرط فيها النباتات — مثل تشغيل أنظمة معقَّدة لالتقاط الضوء، والبحث عن المغذيات، وإرسال تحذيرات الخطر إلى بقية أفراد مجتمعها — هي الكيفية التي تستشعر النباتات البيئةَ من خلالها وتتكيَّف عليها. تلك هي الطريقة التي تتمكَّن بها من البقاء على قيد الحياة والازدهار. وكل ذلك يحدث طوال الوقت أمام أعيننا تمامًا.

ينبغي علينا — نحن البشرَ — أن ننتبه أولًا. لا بد أن ننظر إلى ما هو أبعد مما تسهل ملاحظته سريعًا لكي نكون واعين تمامًا بالكيفية التي تتمكَّن بها النباتات من دعم أنفسها وغيرها من الكائنات التي تعيش معها، والكيفية التي تغيِّر بها البيئة التي تعيش فيها. وبعد الملاحظة الدقيقة القريبة، علينا أن نطرح الأسئلة الصحيحة لكي نتعلم منها كيف نعيش وفقًا لغايةٍ ما، ونتمتع بالفاعلية والقصدية. وربما نستطيع أن نتبنَّى بعضًا من هذه السلوكيات. فالدروس التي تقدِّمها النباتات هي الدروس التي ينبغي علينا أن نتعلَّمها.



«لا شك أنَّ النباتات تتمتَّع بجميع أنواع الحساسية. فهي تُصدِر الكثير من الاستجابات للبيئة. إنَّ النباتات تستطيع أن تفعل كلَّ ما يمكن أن تتخيَّله تقريبًا.»

باربرا مَكلينتوك
في كتاب «التعاطف مع الكائنات الحية»
تأليف إيفلين فوكس كيلر

الفصل الأول

بيئة متغيرة

أتذكَّر بوضوحٍ شديدٍ واحدةً من أولى التجارب العلمية التي قمتُ بها، وذلك حين كنتُ في مرحلة الروضة. فمن خلال مشاهدة شتلة فول بسيطةٍ وهي تنمو، تعرفتُ على ما تتمتَّع به النباتات من قدرةٍ مذهلةٍ في التكيُّف مع بيئتها، وما زالت تلك القدرة تدهشني حتى الآن بالرغم من مرور عقود. كانت التجربة من تنظيم معلِّمة الروضة، التي طلبت من كلٍّ منا أن يزرع شتلة فول على حافة نافذة في المنزل. كان المطلوب منا أن نضع بعض قطع القطن المبلل أو بعض التراب المبلل في قاع كوب بلاستيكي، ونُضيف إليه بضعًا من حبات الفول، ونراقبها يوميًّا. نظرت إلى حبات الفول ذات يوم، وتوصَّلت إلى اكتشاف مثير. لاحظت أنَّ شقًّا قد ظهر في إحداها، وخرج من هذا الشق جذر صغير للغاية. وفي الأيام التي تلَت، بدأت الساق تظهر من الطرف الآخر لحبة الفول، وبدأت الأوراق الصغيرة تظهر وتنبسط. راح نبات الفول ينشد ضوء الشمس في نافذتنا، واستمر في النمو.

بعد عدة أسابيع، طلبَت المعلِّمة منا جميعًا أن نحضر شتلاتنا للقيام بنشاط العرض والسرد. وقد دهِشتُ حين رأيت أنَّ النباتات ليسَت متطابقةً تمامًا؛ فكان بعضها قصيرًا وممتلئًا، وبعضها الآخر طويلًا وضعيفًا. أوضحَت المعلمة أنَّ هذه الاختلافات تتوقَّف على كمية الضوء التي تتدفَّق إلى نافذة كلٍّ منا. فإذا كانت حافة النافذة ظليلة، فسينمو النبات طويلًا في محاولةٍ للوصول إلى الضوء. كانت تلك هي المرة الأولى التي أتعرَّف فيها على إحدى السمات الجوهرية للنباتات، وهي أنها تتأقلم بصورةٍ رائعةٍ على مجموعةٍ كبيرةٍ من الظروف البيئية، وليس على مستويات الضوء فحسب.

إنَّ النباتات تدرك مستويات الضوء، ومدى توافر المياه ومستويات الرطوبة ومدى وفرة المغذيات في التربة. وتستشعر التغيُّرات في هذه العوامل حين تدرس بيئتها وتقيِّم الاستجابات التي ينبغي عليها إصدارها. ووفقًا للمعلومات التي تجمعها، تتمكَّن النباتات من تغيير سلوكها وهيئتها وخصائصها الفسيولوجية، استجابةً للتغيرات التي تحدث في بيئتها.

يعرف معظمنا أنَّ شتلاتِ الفول، كغيرها من النباتات الخضراء، تستخدم الضوء في صنع الغذاء من خلال عملية البناء الضوئي. غير أنَّ قِلةً منا فقط هي مَن تعرف تلك التفاصيل الرائعة المتعلقة بكيفية استجابتها لتغيُّر ظروف الضوء. إنَّ الضوء يؤثِّر على النباتات منذ بداية دورة حياتها؛ إذ يحفِّز بعض البذور على الإنبات وهي لا تزال تحت الأرض.[1] فبينما يتبع الجذر الجاذبية لينمو إلى الأسفل، ينمو البرعم إلى أعلى باتجاه الضوء. وأول ما يظهر من الأوراق، هي الأوراق الجنينية أو الفلقات. تُراكِم هذه الفلقات جزيئات صبغة الكلوروفيل التي «تحتجز» طاقة الضوء. تَظهر أوراق شتلة الفول للعين البشرية باللون الأخضر؛ لأنَّ الكلوروفيل يمتص الضوء الأحمر والأزرق، بينما يسمح بمرور أو انعكاس الجزء الأخضر من الطيف المرئي. ونتيجةً لهذا، ترى مستقبلات الضوء في عيوننا الأطوال الموجية التي لا تستخدمها صبغات البناء الضوئي التي تجمع الضوء.

ومع استمرار الشتلة في النمو والنضج، تمتد أوراقها باتجاه الشمس لجمع الفوتونات، وهي كميات من الطاقة الكهرومغناطيسية. وتحوِّل جزيئات الكلوروفيل الموجودة في الأوراق الطاقةَ الضوئية إلى طاقة كيميائية. بعد ذلك، تُستخدَم هذه الطاقة لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات. ومن خلال عملية البناء الضوئي تلك — المتمثلة في جمع ضوء الشمس لتحفِّز تحوُّل الكربون غير العضوي الذي يأتي في صورة ثاني أكسيد الكربون، إلى كربون مثبتٍ يأتي في صورة سكريات — تتمكَّن النباتات من صُنْع غذائها.

إنَّ أوراق الفول الجديدة ليسَت بمستقبلاتٍ سالبة للضوء فحسب. بل إنها تقوم بتعديلاتٍ بناءً على كمية الضوء التي تستقبلها. فكيف تقيس الضوء إذن؟ اكتشف العلماء أنَّ النباتات تستطيع تحديد عدد الفوتونات التي تمتصُّها كل وحدةٍ من سطح الورقة لكل وحدةٍ من الزمن. ويؤثِّر معدل الفوتونات التي تسقط على سطح الورقة على العديد من العمليات التي يقوم بها النبات لأنه يتحكَّم في معدل تفاعلات البناء الضوئي؛ فالمزيد من الفوتونات يعني المزيد من الإلكترونات المحفزة، ما يعني تفاعلات أسرع.

توجد جزيئات الكلوروفيل الأساسية لحساب كثافة الفوتونات في أنظمةٍ معقَّدةٍ لجمع الضوء تُسمَّى بـ «الهوائيات»، تحتجز طاقة الضوء وتنقلها إلى «مراكز التفاعلات»، حيث تحدث التفاعلات الكيميائية. إنَّ كفاءة النباتات في جمع الطاقة وتحويلها واستخدامها، يمكن أن تضاهيَ كفاءةَ أي خليةٍ شمسيةٍ بكل سهولة. غير أنَّ شتلة الفول الموجودة في حديقتك تستطيع القيام بشيءٍ لا تستطيع أيُّ خليةٍ شمسيةٍ في الوقت الحالي القيام به؛ فهي تستطيع تعديل بِنَى جمْع الضوء الخاصة بها استجابةً لإشاراتٍ ديناميكيَّةٍ خارجيَّة، مثل خفوت الضوء في مقابل سطوعه، أو حدوث تغيُّرٍ في هيمنة الألوان المختلفة من الضوء.[2]

إنَّ التجارب التي أجراها مختبري وغيرُه من المختبرات على النباتات والبكتيريا الزرقاء، وهي نوعٌ من البكتيريا يقوم بعملية البناء الضوئي، تكشف عن قدرةٍ مذهلةٍ على تعديل نظام جمع الضوء ليتكيَّف مع ظروف الضوء المختلفة. فإذا كان الضوء خافتًا جدًّا، يمكن أن تكون مستويات البناء الضوئي منخفضةً للغاية بما لا يسمح بتوفير احتياجات النبات من الطاقة. غير أنَّ التعرُّض لقدرٍ كبيرٍ جدًّا من الضوء قد يكون مضرًّا أيضًا. فعندما يتجاوز الضوء المتوفِّر مستوى القدرة على امتصاص الضوء، يمكن للطاقة الفائضة أن تولِّد نواتج ثانويةً سامَّة. إنَّ ما يرغب النبات في فعله هو زيادة امتصاص الضوء إلى أقصى درجة ممكنة، مع الحد من الضرر في الوقت ذاته. ويحقِّق النبات ذلك من خلال «ضبط» نظام جمع الضوء الخاص به، بما يتلاءم مع ظروف الضوء الخارجية.

تضبط النباتات والبكتيريا التي تقوم بعملية البناء الضوئي هوائياتها بطرق عديدة. فهي تستطيع موالفة البروتينات الخاصة بجمع الضوء الموجودة في الهوائيات مع الأطوال الموجية المتوفرة من الضوء. يمكنها أيضًا تعديل حجم مجمِّعات حصاد الضوء؛ إذ تصبح هذه المجمِّعات أكبر في ظروف الضوء الخافت لزيادة امتصاص الضوء، بينما تُصبح أصغرَ في ظروف الضوء الساطع لتقليل الضرر المحتمل. ويعكس ذلك توازنًا دقيقًا للحصول على ما يكفي من الطاقة الضوئية فقط دون إفراط. ومن خلال التعديلات المعقَّدة التي تُجريها النباتات على نظمِها لجمع الضوء، تحقِّق أقصى إنتاجٍ لها من الطاقة لدَعْم الأنشطة الأساسية.

وفي الوقت نفسه الذي تقوم فيه شتلة حديثة التبرعم بهذه التعديلات داخل خلاياها، فإنها تقوم أيضًا بتعديل ساقها وأوراقها في محاولةٍ لتعظيم امتصاص الضوء إلى أقصى

حد. فالاختلاف في ارتفاع شتلات الفول التي أحضرتُها أنا وزملائي في الروضة إلى الصف، كان نتيجةَ تواصل منسَّق بين أنسجة الشتلات وأعضائها بناءً على كمية الضوء المتوفرة. ولموقع الساق أهمية حيوية لأنه يحدِّد موقع الأوراق، والأوراق هي التي تمتص الضوء اللازم لإنتاج الطاقة الكيميائية والسكريات. وحين تشعر الأوراق بأنها في موقعٍ ملائم لاستقبال كمية مناسبة من الضوء، ترسل إلى الساق إشارة كيميائية بـ «التوقُّف»، مما يثبط حدوث المزيد من الاستطالة. ما يحدث في هذه الحالة مضاد لما يُعرف بعملية الشحوب الظلامي، وينتج عنه نباتات تتسم بسيقانٍ قصيرةٍ وأوراقٍ جيدة النمو. أما إذا لم تتمكَّن الأوراق من جمْعِ ما يكفي من الطاقة بسبب سوء ظروف الضوء المتوفر، فإنها تُرسل إلى الساق إشارة «الاستمرار» لكي يستطيل بهدف الوصول بالأوراق إلى ضوءٍ أفضل. وفي هذه الحالة يحدث الشحوب الظلامي الذي ينتج شتلات تتسم بسيقانٍ طويلةٍ وأوراقٍ قليلة.[3]

تُعدُّ هذه الاستجابة المتناسقة بين السيقان والأوراق مثالًا قويًّا على الكيفية التي تتواصل بها أعضاء النبات معًا استجابة للإشارات البيئية المتغيرة. ويتزايد وعي علماء النبات بأنَّ المجسَّات التي تكتشف هذه الإشارات، بما فيها المستقبِلات الحساسة للضوء، تنظِّم هذا النوع من التفاعل.[4] على سبيل المثال، أسفرت الاستقصاءات التي أجراها فريقي البحثي عن بعض الرؤى عن أدوار إشارات جينية محدَّدة تُستخدم للتواصل بين الأوراق والسيقان لتنظيم عملية منع الشحوب الظلامي، وكذا أدوار الإشارات الصادرة من البراعم والجذور في تنظيم نمو الجذور القائم على الضوء.[5] يستخدم العلماء مصطلح «تكامل النمو» للتعبير عن فكرةِ أنَّ الوظائف المتكاملة لكائنٍ ما تعتمد على التنسيق بين نشاط كل جزء منفرد، وبين نموه ووظائفه.[6] وهذا النوع من الاستجابة المتكاملة جوهري لشتلة الفول. فهي لا تستطيع أن تقتلع جذورها بنفسها وتنتقل إلى مكانٍ أفضل للهروب من الجفاف أو الظل؛ لذا تستجيب بدلًا من ذلك لمجموعة كاملة من إشارات التوقُّف والاستمرار، التي تحفِّز تغييرات فسيولوجية وبنيوية لتحسين وضعها. ومثل هذه المرونة في النمو ضرورية للغاية إذا كان للنبات أن يبقى على قيد الحياة في بيئة ديناميكية.

وفي الحالات الأكثر تطرفًا، يمكن لشتلة الفول أن تعيش بعض الوقت دون ضوء على الإطلاق. وقد وجد العلماء الذين لاحظوا نباتات تنمو في الظلام أنها تختلف اختلافًا هائلًا

في الشكل والبنية والوظيفة عن تلك التي تنمو في الضوء. ويظل ذلك صحيحًا حتى حين تكون النباتات الموجودة في أنظمة مختلفة من الضوء متطابقة جينيًّا وتنمو في ظروف متطابقة من المياه ودرجة الحرارة ومستوى المغذيات. فالشتلات التي تنمو في الظلام تقلِّل من مقدار الطاقة الذي يذهب إلى الأعضاء التي لا تعمل بكامل قدرتها في الظلام، مثل الفلقات والجذور، وتبدأ بدلًا من ذلك في إطالة ساق الشتلة لتخرج النبات من الظلام.[7] وفي حالة وجود ضوء كامل، تقلِّل الشتلات من مقدار الطاقة الذي تخصِّصه لإطالة الساق. فتوجِّه الطاقة إلى زيادة عدد أوراقها ونمو أنظمة جذرية موسَّعة. ويُعد ذلك مثالًا جيدًا على مرونة النمط الظاهري. فالشتلات تتكيَّف مع الظروف البيئية المختلفة من خلال تعديل شكلها، وكذلك العمليات الأيضية والحيوية الكيميائية التي تقوم بها.[8]

تُظهِر مرونة النمط الظاهري لدى النباتات استجابةً للعديد من الظروف البيئية، لا توافر الضوء فحسب. فيمكن للنباتات أن تستجيب أيضًا لبعض الضغوطات الأخرى مثل الجفاف، أو الاختلافات في درجات الحرارة، أو نقص المساحة والمغذيات.[9] وللحفاظ على ناتج ثابت من البذور في مختلف الظروف، على سبيل المثال، يمكن لنبات الفول أن يعدِّل أيًّا من المكوِّنات العديدة لناتج النبات؛ كعدد القرون أو عدد البذور في القرن الواحد أو حجم البذور.[10]

يُعرف نوع مرونة النمط الظاهري الذي يُسفر عن أساليبَ تكيفيةٍ غير قابلةٍ للانعكاس باسم المرونة في النمو. وهذه التغيُّرات التي تحدث خلال نمو النبات أو تؤثِّر في العمليات الحيوية، غالبًا ما تكون ظاهرة. فيمكننا أن نلاحظ استطالة الجذور أو السيقان، أو توقُّف النبات عن إنتاج الأوراق، أو حدوث الإزهار في وقتٍ مختلفٍ عن المعتاد، أو صِغر حجم البذور.

على العكس من ذلك، تشير المرونة الفسيولوجية أو المرونة الكيميائية الحيوية، إلى الوسائل التكيُّفية القابلة للانعكاس، والتي تحدث بداخل الخلايا.[11] ونظرًا لأنها لا تنتج تغيرات تسهل ملاحظتها، مثل انحناء الساق باتجاه الشمس أو تغيُّر لون الأوراق، فمن السهل تجاهل هذا النوع من المرونة. ولكنه على الدرجة نفسها من الأهمية؛ إذ يمكِّن النبات من ضبط مجمع حصد الضوء الخاص به للاستجابة للمستويات المختلفة من الضوء، أو تغيير نسبة إنزيمات البناء الضوئي المختلفة استجابةً لمستويات ثاني أكسيد الكربون لضمان استخدام طاقة الضوء على نحو منتج.[12]

يكمن السبب الأساسي خلف حاجة نبات الفول إلى تعديل شكله وعملياته الأيضية بما يتلاءم مع البيئة، في ميزانية النبات من الطاقة. فالشتلة تمتلك قدرًا محدَّدًا من الطاقة لا بد من استهلاكه للاستمرار في القيام بالأنشطة اليومية، لكن يمكن تقسيمه بطرقٍ مختلفة. أينبغي تخصيص جزء أكبر من الطاقة لبناء ورقة جديدة، أم لإطالة الساق؟ هل تطيل من الجذور أم تكوِّن براعم الأزهار؟ إنَّ هذه الأسئلة شديدةُ الشبه بتلك التي نطرحها عند وضع ميزانيتنا المالية الشهرية. فبعد سداد الإيجار، أحسبُ ما تبقَّى لديَّ من النقود لشراء الطعام. هل أقدِّم حساء المعكرونة، أم السوشي على الغداء مع الأصدقاء؟ إذا كنت أحتاج إلى شراء شيءٍ باهظ الثمن، كسيارة مثلًا، فقد يكون عليَّ تناول حساء المعكرونة لعدة شهور. وفي نهاية المطاف، إذا لم يكن لديَّ من المال ما يكفي للحصول على الأساسيات، فسيكون عليَّ العملُ لساعاتٍ إضافية، مثلما يحتاج النبات إلى إجراء تعديلات لامتصاص المزيد من الطاقة الضوئية. إنَّ قدرة النبات على تعديل ميزانيته من الطاقة لِتتلاءمَ مع البيئة المتغيرة بالغةُ الأهمية لبقائه.

تمتلك جميع الكائنات الحية ميزانيات محدَّدة من الطاقة، لكنها تديرها بطرقٍ مختلفة.[13] فتتكيف الحيوانات من خلال تغيير سلوكها وتنظيم حركاتها. ففي المناخات المعتدلة، على سبيل المثال، تلجأ الدِّببة وغيرها من الحيوانات إلى البيات طوال فصل الشتاء لادخار الطاقة حين يكون الغذاء نادرًا.[14] أما النباتات فتتكيف بطريقة مختلفة. فهي تستطيع تغيير شكلها، مثلما رأينا في نبات الفول، أو إجراء تغييرات كيميائية حيوية. ويرى بعض علماء بيولوجيا النبات أنَّ هذَين النمطَين من أنواع السلوك.[15] من الاختلافات الأخرى بين النباتات والحيوانات أنَّ النباتات تعدِّل سلوكها وشكلَها استجابةً للبيئة في مراحل مختلفة من النمو.[16] فقد تطيل الشتلة ساقها أو تكوِّن أوراقًا جديدة استجابةً لمقدار توافر الضوء، بينما قد يجد نبات بالغ أنه يحتاج إلى تغيير موقع أوراقه. يمكن تعديل موقع الأوراق من خلال تغيير ضغط الماء، أو ما يُعرف بضغط الانتفاخ، داخل الخلايا، أو من خلال جعل أجزاء مختلفة من عنق الورقة — أي ساقها — تنمو وفقًا لمعدلات مختلفة. ففي أيام الصيف الحارقة، على سبيل المثال، يمكن أن يرفع النبات أوراقه عن سطح التربة الذي يصل إلى درجة خطيرة من السخونة.[17]

ثمة اعتبارات أخرى مؤثِّرة حين يتعلَّق الأمر بشجرة بَلُّوط طويلة. ففي الغطاء الشجري بالأعلى، قد لا تتمكَّن بعض الأوراق من الحصول على ما يكفي من الضوء؛ إذ

تظلِّلها أوراقٌ أخرى، أو ربما تستقبل أطوالًا موجية مختلفة من الضوء.[18] ومن خلال ثني عنقها أو إطالته، يمكن لتلك الأوراق الانتقال إلى الفراغات المفتوحة؛ حيث تستطيع الحصول على مقدارٍ أكبر من الضوء أو نوعية أفضل من الضوء من حيث الجودة.[19]

حين نفكِّر في الظروف البيئية، غالبًا ما يردُ على أذهاننا الضوء والمياه والمغذيات وما إلى ذلك. غير أنَّ نباتات الفول وشجيرات الزنبق الموجودة في حديقتك تتبارى أيضًا مع عامل بيئي آخر، وهو الأرانب والغزلان التي تتغذَّى عليها. إنَّ البستانيين وعلماء البستنة على وعي تام بما يسميه علماء الأحياء بالمرونة المستحثة بواسطة الحيوانات، والتي تحدث حين يقضم حيوانٌ ما غصنًا أو ساقًا، وتظهر بعد ذلك أغصان جانبية جديدة. وفي بعض الأحيان نحفِّز النبات على هذه المرونة المستحثة بأنفسنا من خلال التقليم. فنحن نفضِّل الشجيرات ذات الشكل الممتلئ الذي يظهر حين تتفرع غصون جانبية، على الشجيرات الطويلة السقيمة ذات الغصون غير الكثيفة، والتي تنمو على طبيعتها في البرية.[20] ولكنَّ ثمة احتمالًا بأن تكون الشجيرات قد طوَّرت هذه الاستجابة لسببٍ محدَّد، وهو أنَّ الشكل الأكثر كثافة يمكن أن يصعِّب على الحيوانات الوصول إلى الأزهار والثمار.

إضافةً إلى المرونة البيو كيميائية والمرونة في النمو، يمكن للنباتات أيضًا أن تستجيب للبيئة من خلال وسائل علمِ ما فوق الجينات، أو التحلُّق المتوالي. لعلك تتذكَّر من المقدمة أنَّ التغيرات ما فوق الجينية هي التغيرات التي تؤثِّر في كيفية تنظيم الحمض النووي، وقد يكون بعضها قابلًا للتوريث. ويُعد التنشيط بالبرودة من العمليات التي تخضع للتنظيمِ ما فوق الجيني. تشير هذه العملية إلى تعزيز الإزهار بعد تعرُّض النبات إلى فترة طويلة من البرودة، ما يؤدي إلى عدم تفتُّح الأزهار حتى ينحسر الشتاء البارد ويبدأ الربيع. لقد اكتشف العلماء أنَّ درجات الحرارة الباردة تعدِّل التعبير الجيني في النباتات التي تتحلَّى بهذه السمة، ويظل هذا التعديل قائمًا شهورًا من خلال عدد كبير من الانقسامات الخلوية. إنَّ النبات قادر بشكلٍ فعَّال على أن «يتذكَّر» مروره بفصل الشتاء، وأنَّ التزهير صار آمنًا. غير أن هذه الذاكرة لا تستمر إلى الجيل التالي.[21] وتوجد بعض الأدلة على أنَّ نباتات محدَّدة، مثل بلوط الوادي، يمكن أن تشهد بعض التغيرات ما فوق الجينية استجابةً للتغيُّر المناخي، وتُورث هذه التغيرات إلى الجيل التالي.[22]

منذ بداية الكتاب وحتى الآن، ناقشنا الأوراق والسيقان والغصون، وجميعها يوجد فوق الأرض. غير أنَّ النباتات تستجيب للظروف البيئية تحت الأرض أيضًا؛ حيث توجد منافسة على الموارد المحدودة.[23]

إنَّ ظروف التربة أبعدُ ما تكون عن التجانس. فقد يختلف مستوى الحموضة من مكان إلى آخر، ويمكن للأوراق المتحللة أو جثث الحيوانات أن تشكِّل رقعة غنية بالمغذيات.[24] يمكن لهذه الرقاع أن تنتج أيضًا بفعل استهلاك النباتات الأخرى أو جراثيم التربة لهذه الموارد، الأمر الذي يترتَّب عليه نضوبها.[25] وبعيدًا عن الأنظار، تستطيع جذور النباتات الكشف عن عدم التساوي في توافر الماء، والمعادن، والمغذيات في التربة.

في حالة سوء ظروف التربة، يمكن للنباتات تخصيص قدرٍ أكبر من ميزانية طاقتها إلى نمو الجذور. فتتفرَّع الجذور وتنمو الشعيرات الجذرية، وهي جذور طويلة رفيعة تمتد إلى مناطقَ أبعد في الأسفل وجانبيًّا للبحث عن تربة غنية بالمغذيات وبها قدْرٌ كافٍ من المياه.[26] أما في بقاع التربة الغنية بالمغذيات، فتستطيع النباتات زيادة الكتلة الحيوية لجذورها. فتنمو الجذور إلى الجانب وتزيد كثافتها للاستفادة من الظروف الجيدة. وإلى جانب الاستجابة للاختلافات المكانية، تستجيب النباتات للاختلافات الزمانية أيضًا. فيمكن للنباتات أن تزيد من الكتلة الحيوية لجذورها في حالة توفُّر مغذيات أكثر على المدى القصير.[27]

عادةً ما تكون الهرمونات هي المحفِّز والمعزِّز لهذه التغيُّرات في بنية الجذور ونموها. والهرمون الأساسي المستخدَم في هذه الحالة هو الأكسين، وهو الهرمون نفسه المسئول عن انحناء النبات باتجاه الضوء.[28] وينتج عن هذه التعديلات في الجذور عواقب واسعة النطاق يصل تأثيرها إلى الأجزاء الموجودة فوق الأرض أيضًا. فحين تكون المغذيات محدودة، تحوِّل النباتات طاقتها عن إنتاج البراعم الجديدة، وتوجِّهها بدلًا من ذلك إلى نمو الجذور وبروتينات النقل التي تشترك في عملية استهلاك المغذيات.[29] أما حين تكون المغذيات وفيرة وتتلقى الجذور كميات جيدة من مركَّب النترات الأساسي، الذي يُستخدم في إنتاج البروتينات وغيرها من المركَّبات الخلوية المهمة، يتغيَّر توازن الهرمونات ويعزِّز تفرُّع المزيد من البراعم.[30]

في المرة التالية التي تكون فيها في حديقتك أو تكون في تمشية في الغابات، فكِّر للحظة في كلِّ ما يجري تحت الأرض. إنَّ قدرة نبات الفول وشجرة البلوط على التحكُّم في تحفيز الجذور ونموها وكثافتها، ضرورية للغاية لدعم نمو النبات وتكاثره.[31]

تتمتع النباتات، مثلما رأينا، بقدرة استثنائية على استشعار ظروف بيئتها والاستجابة لها. ويمكن للبشر أن يتعلَّموا من النباتات بعض الدروس المفيدة التي قد تساعدنا على الازدهار أفرادًا ومجتمعات. فمثلما تحدِّد شتلة الفول المقدار المحدَّد الذي تحصل عليه من الضوء، ونوعية المغذيات التي تمتصها جذورها، يجب علينا أن نكون شديدي الوعي بمحيطنا، وعلينا أن نهدف إلى التأمُّل فيما نُدركه وفي أفضل استجابةٍ ممكنةٍ عليه. ألدينا ما يكفي من الغذاء والمأوى؟ هل نحصل من عائلاتنا وأصدقائنا وأماكن عملنا على ما يكفي من الدعم العاطفي والمالي واللوجستي؟ علينا أن نطرح هذه الأسئلة على المدى القصير والطويل أيضًا. فبالرغم من أنه قد يكون لدينا خططٌ طويلة الأمد لدعم احتياجاتنا الأساسية، ربما تتعرَّض خططنا لاضطرابات أو تغييرات مفاجئة تستلزم منا استجابة فورية.

ومن أعظم الدروس التي تعلَّمتها في هذا الصدد، أهمية التأمُّل الذاتي القصدي، وهو المكافئ لاستغراق بعض الوقت لإدراك ظروف بيئتي. ليس غريبًا عليَّ ولا على غيري من البشر أن نكون في حالةٍ مستمرةٍ من الانشغال، وليس لدينا سوى القليل من الوقت للتأمل الذاتي، والقليل من الوقت لتقييم ما إذا كانت تصرفاتنا الحالية لا تزال متسقة على نحوٍ هادف مع بيئتنا الحالية، أم لا. إنَّ أهمية إعطاء الأولوية لوقت التأمُّل كي أدرك ظروفي وأبقى في اتساقٍ مع بيئتي، والموارد والدعم المتاحَين، ومن ثمَّ الاستجابة بناءً على هذا، هو ما صرت أفهمه بعد ذلك بأنه احتياج إلى «المعالجة والاستجابة».[32] وهي وظيفة مماثلة للاستجابة البيئية لدى النباتات.

فبناء على ظروفه في وقت محدَّد، قد يقرِّر نبات الفول زيادة طوله أو تمديد جذوره، وذلك بتخصيص قدرٍ أكبر من ميزانية طاقته لهذه البنية أو تلك. وبهذه الطريقة نفسها نحتاج، نحن البشرَ، إلى وضع خطة استراتيجية لتحديد مقدار الطاقة الذي نخصصه إلى نشاط من الأنشطة، مع تحديد الأماكن التي يمكن أن نبحث فيها داخل مجتمعنا عن مواردَ أكبرَ وفقًا للظروف الحالية. ربما ندرك أننا نحتاج إلى مصادرَ إضافيةٍ لدعم أنفسنا وتوفير احتياجاتنا الأساسية، وقد نحتاج في هذه الحالة إلى طلب زيادة في الراتب، أو الانتقال من مسكننا، أو الالتحاق بدورة تدريبية والتخلي عن تناول الطعام خارج المنزل.

إنَّ ضوء الشمس والمغذيات ليست بالظروف الثابتة، وكذلك هي ظروف حياتنا. فحين يطرأ تغيير على وضعٍ ما، من المهم أن نكون مدركين لذلك وأن نستجيب له على النحو الملائم. ولنا في شتلة الفول المتواضعة مثال ممتاز على كيفية التأقلم مرارًا وتكرارًا مع الظروف الخارجية.



«إنَّ الأشجار والنباتات تُبدي الاحترام بعضها لبعض بالتناغم الذي تحيا به.»

ماسارو إيموتو
«الرسائل الخفية في الماء»

الفصل الثاني

صديقٌ أم عدوٌّ

ينثر البستانيون البذورَ في الأرض وهم يتخيَّلون باحةً مليئة بالأزهار الملوَّنة أو حصادًا وفيرًا. إننا نرحِّب بانبثاق الشتلات من الأرض في فصل الربيع. ولكننا لا نُلقي في التربة بمجموعة من البذور عشوائيًّا هكذا. فالبستانيون المحنَّكون يفكِّرون مليًّا في نوع الزهور والخضراوات التي يزرعونها، وكيفية تجميعها في مجموعات. أما البستانيون الأكثر ذكاءً، فيختارون أنواعًا «ودودة» تنمو معًا على نحوٍ جيد، لضمان توفير بيئة صحية تعاونية، وغالبًا ما نمنح الشتلات نقطةَ انطلاق بإنباتها من البذور في الداخل. فنعمل بحرص على ضبط مستويات الضوء والرطوبة وجدول الري لرعاية شتلات الزينيا الصغيرة والفول والطماطم. وبعد أن ينتهي خطر الصقيع وننقل الشتلات إلى الخارج، يظل أمامنا المزيد من العمل. فلكي نحصل على حديقة صحية، نبدأ عملية الإزالة الانتقائية في الأسابيع التالية. فبعد تقييم للتوزيع المكاني للنباتات الصغيرة، نضحِّي بترويةٍ وحرصٍ ببعض منها لكي تحصل بقية النباتات الأخرى على المساحة الكافية للنمو، ولا تتنافس معًا للحصول على ضوء الشمس والمغذيات. ونزيل الحشائش أيضًا؛ فنقتلع الأنواع غير المرغوب فيها مثل الهِنْدَباء البرية وعشبة الرجيد.

في البيئة الطبيعية، تحدث الإزالة الانتقائية دون يد البستاني؛ فبعض الشتلات لا تنمو، وبعضها تأكله الحيوانات الآكلة للعشب، وبعضها ينمو حتى البلوغ. وربما ترى تجمُّعًا كثيفًا من شتلات البلوط وتتخيَّل صراعًا قاسيًا من أجل البقاء. غير أنَّ ما يحدث أكبر من ذلك بكثير. تخفُّ حدة المنافسة بين الشتلات بفعل تقديرها لمقدارِ ما تنفقه من الطاقة، ومثلما يوجد تنافس يوجد تعاون أيضًا، يتم بطُرقٍ قد تدهشك. فنباتات الزينيا والطماطم والبلوط، تقيِّم باستمرارٍ ما إذا كان ما يجاورها من النباتات والحشرات

والفطريات والبكتيريا أصدقاءَ لها أم أعداء، ثم تتخذ القرارات بشأن الطريقة المثلى لتركيز طاقتها للحصول على الموارد المطلوبة.

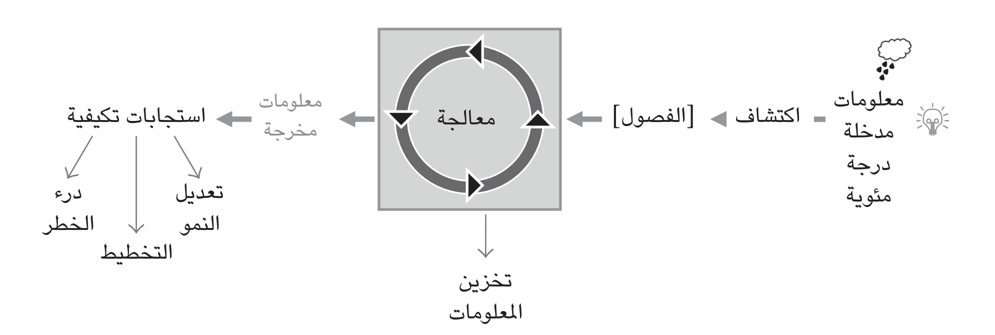
وكما رأينا، تدرك النباتات ميزانيتها فيما يتعلَّق باستثمار الطاقة. ولهذا السبب تتجنَّب المنافسة أكثرَ من اللازم؛ فهي تتنافس مع جيرانها بمحاولة السعي للحصول على ضوء الشمس أو المغذيات مثلًا، إلى أن تلبِّي احتياجاتها فحسب. وتستخدم عددًا من الآليات المختلفة لتحديد متى ينبغي عليها بدء المنافسة ومتى ينبغي عليها الخروج منها — أي وضع حدٍّ لها — لكي تتفادى استخدام مصادر الطاقة الثمينة دون داعٍ.[1] فإذا استمرت في التنافس على الموارد بعد الحصول على ما يكفيها، فستهدر في ذلك طاقةً قد تحتاج إليها في المستقبل. وبدلًا من التنافس، قد تختار النباتات التعاون، مما يتيح لها ادخار الطاقة من خلال تشارك تكاليف الاقتناء.

إنَّ اتخاذ القرار بشأن كيفية التفاعل يستلزم من نباتٍ ما، مثل شجرة البلوط اليافعة، أن يكون مدركًا لما يوجد حوله من الكائنات، سواء أكانت نباتات أم حيوانات أم كائنات دقيقة، وأن يعرف أيضًا ما إذا كان بإمكانه التواصل مع هذه الكائنات المجاورة لتقييم الاحتياجات المشتركة أو التكميلية، وما إذا كانت توجد آليات للعمل على نحوٍ تآزري للحصول على الموارد مع مشاركة التكلفة.

كيف تقيِّم شجرة البلوط الصغيرة ما إذا كان جارُها صديقًا أم عدوًّا، وما يمكنها فعله بشأن ذلك؟ يعتقد علماء النبات أنَّ العديد من الأنواع يستخدم ما يُعرف باسم نموذج الكشف — الحكم — القرار، وهو نموذج كان علماء السلوك الحيواني هم أول مَن وضعوه. ربما يبدو شيء بسيط كزيارة نحلة لإحدى الزهور فعلًا عشوائيًّا بالنسبة إلينا، لكنه يبدأ في واقع الأمر بكشف النحلة عن الزهرة. وبعد الكشف عن الزهرة، تأتي مرحلة الحكم الذي تقوم به النحلة للتمييز بين أنواع الزهور، ثم اتخاذ القرار بالزيارة في نهاية المطاف. وقد وجد العلماء بالفعل أنَّ النحل يتمتَّع بالقدرات الإدراكية التي تُمكِّنه من التمييز بين الإشارات البصرية، ولو كانت متشابهة جدًّا. فبناءً على المكافآت كالرحيق الحلو، مقارنةً بعدم وجود مكافآت على الإطلاق أو وجود عقوبة كارتشاف مادة مُرَّة، يستطيع النحل استخدام الإشارات البصرية للتمييز بين الزهور واتخاذ قرارات بشأن الانتقاء منها.[2]

تجري هذه العملية على النحو نفسه في النباتات. يستخدم النبات مستقبِلاته للكشف عن المعلومات التي قد تؤدي إلى إنتاج إشارةٍ ما، كإشارة كهربائية أو كالسيوم مؤقت أو

تراكم الهرمونات، ثم يعالج النباتُ هذه المعلومات وغالبًا ما يقيِّمها من خلال الهرمونات المكتشَفة ليُصدِر تقديره، ثم يتخذ قراره بعد ذلك، مثل ما إذا كان سيغيِّر نمطه الظاهري من خلال تغيير تعبيره الجيني.[3] لِنتناول مثالًا على ذلك، الدراسات التي أجراها العلماء على نبات رشاد أذن الفأر، وهو نبات صغير تنمو أوراقه في وردة صغيرة، تشبه الهِنْدَباء. حين ينمو الكثير من نباتات رشاد أذن الفأر بالقرب من بعضها، قد تُظلِّل بعض الأوراق على أوراق جيرانها. وقد وجد الباحثون أنَّ النباتات تستطيع اكتشاف وجود جيرانها بالقرب منها حين تتلامس أطراف الأوراق. يدرك النبات هذه الإشارة حتى قبل أن يلاحظَ ما يرتبط بتزاحم الأوراق من تغيراتٍ في طيف الضوء.[4] وباستخدام هذه المعلومة بشأن جيرانه، يستطيع النبات اتخاذ قراره بشأن كيفية الحصول على مزيد من الضوء.



تستخدم النباتات عمليةً لاتخاذ القرار تستند إلى قدرتها على اكتشاف الإشارات البيئية باستخدام المجسَّات (مثل مجسات الضوء والحرارة والرطوبة)، ومعالجة المعلومات التي تستقبلها وتخزين بعض منها (في صورة التغيرات ما فوق الجينية على سبيل المثال)، وإصدار استجابات تكيفية تتضمن التخطيط وتعديل النمو ودرء الخطر.

يستطيع العديد من النباتات أيضًا أن يكتشف وجود بعضه بعضًا عن طريق المركَّبات العضوية المتطايرة التي يطلقها في الهواء. تُعد هذه المركَّبات مركَّبات أيضية ثانوية لا تُستخدَم مباشرة في النمو أو التطور أو التكاثر، وإن كانت تستطيع تحفيز الهرمونات التي تحكم هذه العمليات أو التفاعل معها. وغالبًا ما يُنظَر إلى هذه المركَّبات باعتبارها شكلًا من أشكال اللغة.[5] لقد كان علماء الأحياء يعتقدون فيما مضى أنَّ الحيوانات فقط

هي التي تتمتع بقدرة التعرُّف على الذات والتعرُّف على الأقارب؛ أي القدرة على تحديدِ ما إذا كان نسيجٌ ما أو فردٌ آخرُ يتطابق جينيًّا مع الكائن المعني أو وثيق الصلة به. غير أنَّ التجارب أوضحت أنَّ النباتات تتمتع بالقدرة على تمييز الذات، وغير الذات، والأقارب.[6] وغالبًا ما يتم هذا التمييز عن طريق المركَّبات العضوية المتطايرة التي تنتجها النباتات، سواء أكان ذلك بصفة روتينية أم استجابة لإشارة بيئية محدَّدة، مثل مضغ خنفساء لإحدى الأوراق. تمثِّل هذه المركَّبات وسيلةَ نقل من نبات لآخر، سواء أكانا من النوع نفسه أم من نوعين مختلفين، وحتى من نباتٍ ما إلى الأفراد في مجموعات أخرى مثل الحشرات والبكتيريا.[7]

لكي يتخذ النبات القرار بالمنافسة أو القرار بالتعاون، يقوم بعقد موازنة دقيقة بين تكاليف فرصة استثمار موارده في وظيفةٍ ما مقابل استثمارها في الأخرى.[8] فمثلما نفعل حين نحدِّد الخيار الأفضل لأنفسنا — هل أبحث عن وظيفة في الوقت الحالي، أم أسعى إلى المزيد من التعليم أولًا؟ — تقرِّر النباتات اتخاذ مسار عملٍ ما حين تكون المنافع المتوقَّعة لهذا المسار أكثرَ من تكلفته. وسوف نرى أنَّ لهذه القدرة على الاستجابة للبيئة على نحوٍ ديناميكي، منافعَ قصيرةَ الأمد وطويلة الأمد أيضًا.

على غرار جميع النباتات، تحتاج شجرة البلوط اليافعة إلى الضوء والمغذيات والرطوبة كي تنمو وتكبر وتتكاثر. غير أنَّ هذه الموارد قد تكون محدودة لا سيما في بيئةٍ مزدحمة. وحين تكون الموارد محدودة، فإنَّ الأفراد الذين يتمكَّنون من الحصول عليها بدرجة أفضل أو استخدامها على نحوٍ أكثرَ كفاءة، ستكون لديهم فرصة أفضل في البقاء، ويحظون بنسل أكبر. من المحتمل أن تكون النباتات قد طوَّرت هذه الاستجابات بسبب التباين المكاني الطبيعي في توافر الموارد في البيئة، أو بسبب استخدام الكائنات الحية الأخرى في حيِّز بيئيٍّ ما، مثل استخدام الكائنات التي تعيش في التربة كالجراثيم للمغذيات.[9] إنَّ شجرة البلوط التي تتمتَّع بهذه القدرات، إضافةً إلى الآليات اللازمة لتفادي ضرر المفترِسات، سوف تستمر في تمرير المزيد من الجينات إلى الجيل التالي وستنتشر الاستراتيجية.

حين تكون النباتات في موقفٍ يستدعي المواجهة، فإنها في العادة تختار واحدةً من عدة استجابات: المواجهة والمنافسة، أو التعاون، أو التحمُّل، أو تجنُّب المواجهة بِرمَّتها. وعند الاستجابة للإشارات البيئية، تختار الاستجابة بالطريقة الأكثر اقتصادًا في الميزانية.[10]

من الأمثلة الكلاسيكية على المواجهة والمنافسة، التنافس على الضوء. فبسبب حاجة النباتات إلى ضوء الشمس، تكون شديدة الحساسية لوجود النباتات المجاورة، التي قد

تحجُب عنها الأطوال الموجية الحمراء الغنية الموجودة في ضوء الشمس الكامل والتي تحفِّز عملية البناء الضوئي لأقصى درجة. أما الجيران المظلِّلة، فهي تحدُّ من إمكانيات البناء الضوئي وإنتاج الطاقة الكيميائية.

تستجيب النباتات لهذا السيناريو من خلال الانخراط في منافسةٍ تُعرَف باسم سلوك تجنُّب الظل.[11] حين يُحجَب ضوء الشمس عن أوراق شتلة بلوط بسبب جيرانها، يُنشَّط إنتاج الهرمونات المعزِّزة للنمو أو تراكمها.[12] تؤدي تلك الهرمونات إلى استطالة الساق (وهو نوع من المرونة في النمو)، وحينها يمكن لشجيرة البلوط المُظلَّلة أن «تفوز» بأن تصبح أطول من جيرانها. قد تنخرط الشتلة في منافسةٍ مع جيرانها على ضوء الشمس من خلال «التسابق» إلى فتحة في الغطاء الشجري أو منطقة أخرى تتعرَّض لضوء الشمس المباشر. بعض الاستراتيجيات الأخرى تتضمن إمالة الأوراق إلى أعلى، وتقليل التفرُّع مع تخصيص موارد أكثر إلى الساق الأساسية، وزيادة نمو الجذور.[13] يستطيع الفائز في هذا السباق تجديد مخازن طاقته وزيادتها، والتي يمكنه استخدامها في زيادة كتلته الحيوية والدفاع عن نفسه ضد الخطر، أو التكاثر.[14]

في الفصل الأول، ذكرتُ إشارات التوقُّف والاستمرار التي تخبِر شتلة الفول متى ينبغي عليها التوقُّف عن الاستطالة، أو البدء فيها، بناءً على كمية الضوء التي تستقبلها. ثمَّة عملية مشابهة تحدث حين تفسِّر شتلة البلوط الإشارات البيئية لتحديد تهديد المنافسين وإصدار استجابة.[15] فثمة مجموعة من البروتينات، تُسمى بالمستقبِلات الضوئية، تستطيع اكتشاف الضوء باختلاف أطواله الموجية.[16] وهي لا تخبِر شتلة البلوط بمقدار الضوء الذي تستقبله فحسب، بل تخبرها بنوعيته أيضًا. حين تكشف المستقبِلات الضوئية عن نسبةٍ كبيرةٍ من الضوء يقع في منطقة أقصى الأحمر من الطيف، ترسل إلى النبات إشارة بالاستمرار، مما يحثُّ النبات على تغيير موقعه ليصلَ إلى مزيدٍ من الضوء المباشر. إنَّ الضوء الأحمر البعيد، الذي يقع على حد الأطوال الموجية المرئية للبشر، يُشير إلى نوع الضوء السيئ الجودة المعتاد في حالة الظل. أما إذا كشفت المستقبِلات الضوئية عن نسبةٍ كبيرةٍ من الضوء الأحمر المعتاد من ضوء الشمس، فإنها ترسل إلى النبات بإشارة للتوقُّف عن إطالة الساق؛ لأنها في بيئةٍ جيدة للسكنى. ومثل هذه الضوابط والتوازنات الموجودة في نظام التواصل تمكن الشتلة من الاستجابة على نحوٍ ملائم عن طريق تغيير نمطها الظاهري مع الاحتفاظ بالموارد لأنشطة أخرى ستزيد النمو والصمود والتكاثر.

ثمة طريقة أخرى تستخدمها النباتات للمنافسة على الضوء، وهي من خلال النمو الأفقي لا الرأسي. في هذه الاستراتيجية، لا تنمو النباتات إلى أعلى، بل إلى الجانب في الفجوات الأكثر انفتاحًا.[17] ويُعدُّ النمو الجانبي للأوراق عمليةً أكثر تعقيدًا مما كان يُعتَقد في بادئ الأمر. فقد توصَّل الباحثون إلى الاكتشاف المذهل بأنَّ بعض النباتات قد تعدِّل من سلوكها التنافسي أو التعاوني بناءً على ما إذا كان جيرانها من الأقارب المقربين أم لا. إنَّ مثل هذا السلوك معروف جيدًا في الحيوانات ويُعتقَد أنه تطوَّر لأنَّ الأقارب يتشاركون في الجينات. فيتشارك طائر القيق الأزرق، على سبيل المثال، نصف جيناته تقريبًا مع إخوته، وبعض هذه الجينات يرتبط بزيادة الفرصة في البقاء؛ لذا فإنَّ الطائر حين يحمي أخاه أو أخته من أحد المفترِسات، فإنه يضمن بذلك أيضًا استمرار جيناته الخاصة المعزِّزة للبقاء.[18]

والآن اكتشف الباحثون شيئًا مشابهًا يحدث في النباتات. فقد وجدوا أنَّ النباتات يمكن أن تستخدم النمو الجانبي للأوراق في التعاون بدلًا من التنافس. فقد أوضحت الدراسات التي أُجريَت على عشب الجوهرة الصفراء، أنَّ الأفراد قادرةٌ على تمييز أقاربها الشديدة الصلة من خلال جذورها. وتنمو النباتات التي تُزرع بجوار إخوتها على نحوٍ مختلف عن تلك التي تنمو بجوار غرباء. ذلك أنَّ هذه النباتات تتعاون معًا بدلًا من التنافس على الضوء. فالنباتات التي تنمو بجوار قريبٍ لها تتفرَّع بدرجة أكبر وتصبح أكثر كثافة؛ ونتيجةً لهذا تقلِّل من تشابك الأوراق والتظليل على جيرانها من الأقارب.[19] وأوضحت بعض التجارب الأخرى التي أُجريت على نبات رشاد أذن الفأر، انخفاض الاستجابة التنافسية في النباتات التي تجمع بينها وبين جيرانها صلة قرابة. ففي هذه الحالة، يمكن للنباتات تمييز أقاربها من خلال إشارات فوق الأرض لا إشارات تحت الأرض، ويتم ذلك عن طريق المستقبِلات الضوئية الكاشفة عن الضوء.[20]

لوحِظ مثل هذا السلوك في مجموعةٍ مختلفة من الأنواع الأخرى، ومنها الأشجار. في المرة التالية عندما تكون موجودًا في غابة، انظر إلى أعلى باتجاه السماء، أو إذا كنت في طائرة، فانظر إلى أسفل إلى أيكةٍ من الأعلى. ربما تلاحظ وجود فجوات بين قمم الأشجار المتجاورة. تُدعى هذه الظاهرة باسم «خجل القمم» أو «تباعد القمم»، وكان يُعتَقد في بادئ الأمر أنَّ السبب فيها هو التآكل بسبب القرب المادي.[21] غير أنَّ دراساتٍ أحدثَ أوضحت أنها قد تكون نتيجةَ استجابةِ تجنُّب الظل الصادرة عن المستقبِلات الضوئية، أو السلوك التعاوني في بعض الحالات. فتباعُد القمم يشيع بين الأشجار التي تربط بينها صلةُ قرابة وثيقة، أكثر مما يشيع بين الأشجار التي لا تجمع بينها صلةُ قرابة وتنتمي إلى

أنواع مختلفة.[22] يبدو إذن أنَّ النباتات تتنافس للحصول على الضوء مع الأقارب أو مع النباتات القريبة منها، بوتيرة أقل من تلك التي تتنافس بها مع غير الأقارب. إنَّ التباعد الدقيق في الغطاء الشجري استجابةٌ نمائية تعاونية تحدُّ من المنافسة، وتُعَد مثالًا يوضِّح كيف أنَّ استجابات المرونة للمنافسة يمكن أن تؤثِّر في النظام البيئي والديناميكيات على مستوى المجتمع، ويمكن أن تحدِّد في نهاية المطاف، أي الأنواع سيستمر.[23]

إلى جانب التنافس والتعاون، أحيانًا ما تستجيب النباتات في الظروف التي يكون فيها الضوء محدودًا، بالتحمُّل. في هذه الحالة، لا تتسابق النباتات على الضوء من خلال النمو المعتمِد على الهرمونات، وإعادة توزيع الموارد مثلما تفعل حين تمارس تجنُّب الظل.[24] بدلًا من ذلك، تقوم النباتات التي تتحمَّل الظل ببعض الإجراءات التكيُّفية التي تمكِّنها من إنتاج غذاءٍ كافٍ في ظروف الضوء المحدود. ويكون لهذه النباتات أوراقٌ أرقُّ وأكبرُ تحتوي على تركيزات أكبر من صبغات الكلوروفيل لامتصاص مزيد من الضوء الأحمر الذي لا يتوافر بكثرة في ظروف الضوء الخافت.[25] وللتعويض عن ذلك، تُنفِق النباتات المتحملة للظل طاقةً أقلَّ في صنْع الصبغات التي تعمل بمثابة واقٍ من الشمس في الظروف المشمسة. ومن ثمَّ فإنَّ كلًّا من النباتات المتجنبة للظل والنباتات المتحملة له، يتبنَّى إجراءات تكيفية تتيح لها تحقيق المستوى الأمثل من امتصاص الضوء وكفاءته؛ فتستفيد النباتات المتجنبة للظل بأقصى ما يمكن من الظروف المشمسة، بينما تستفيد النباتات المتحملة للظل بأقصى ما يمكن من الظروف الظليلة.

بينما تنمو شتلة بلوط أو شتلة من عشب الجوهرة الصفراء، تشعر بالنباتات المجاورة وتقيِّم قربَها وحجمها وقرابتها، من خلال طرق متعددة فوق أرضية وتحت أرضية. وبناءً على ما تجده في بيئتها المحيطة، تتخذ القرار — في صورة جزيئات تُركَّب وتُستخدَم — إما بالانخراط في المنافسة، أو التعاون، أو التجنُّب، أو التحمُّل.[26] والقدرة على تحديد التوقيت المناسب للمنافسة ومتى يجب أن تحجم عنها، ضرورية لعملية اتخاذ القرار بشأن طاقة النبات؛ إذ يتيح له استخدام موارده على النحو الأكثر فاعلية.[27]

ربما يكون تغيير النبات لموقع أوراقه، وإطالة ساقه من أجل الوصول للضوء مرئيًّا للعين البشرية المراقِبة، لكنَّ ثمة معركة مثيرة تدور تحت الأرض أيضًا. فعلى غرار أوراق النباتات، تتنافس الجذور أيضًا على الحيِّز المادي والموارد.

ربما تظن أنَّ الجذور غير مثيرة للاهتمام، لكنها تأتي في مجموعة شديدة التنوُّع من الأحجام والأطوال والأشكال والتوزيعات، شأنها شأن الزهور والأوراق والسيقان. فجذور بعض النباتات تكون سطحية وشديدة التشابك؛ إذ يوجد فيها الكثير من التفرعات والوصلات التقاطعية، وبعضها الآخر طويل وعميق وتوجد بها جذور وتدية تسبُر الأغوار تحت الأرض. بعض خصائص الجذور ثابتة داخل النوع الواحد، بينما يمكن أن يستجيب بعضها للظروف البيئية.

ومثلما تتنافس الأوراق على الضوء فوق الأرض، تتبارى الجذور تحت الأرض أيضًا للحصول على المغذيات المتاحة.[28] فعادةً ما تكون المغذيات غير موزَّعة بالتساوي في التربة. ولهذا السبب، فإنَّ النباتات التي تمتلك جذورًا يمكن أن تنمو باتجاه المغذيات، أو تتسم بكفاءة خاصة في الحصول على الموارد أو استخدامها، سيكون لديها ميزة تنافسية. توجد بعض المغذيات في صورةٍ لا تستطيع الجذور امتصاصها بسهولة؛ لذا فإنَّ النبات الناجح في التنافس، هو ذلك الذي يستطيع الحصول على هذه المغذيات. وتتمثَّل إحدى طرق الحصول على المغذيات في تحويلها إلى صورة قابلة للذوبان أو النقل. يفرز الجذر مركَّبات تزيد من قابلية ذوبان المغذيات، أو يقوم بربطها حتى يتمكَّن من امتصاصها (انظر الفصل الثالث للمزيد عن هذا الموضوع).[29]

ثمة طريقة أخرى يمكن للنبات استخدامها، وهي الاستعانة بكائنات دقيقة «صديقة» لتحويل هذه المغذيات إلى صورةٍ يستطيع امتصاصها. ولكن كيف يطلب النبات من كائن آخر أن يقوم بهذه المهمة؟ يفعل النبات ذلك في بعض الأحيان من خلال إفراز سوائل في التربة المحيطة بالجذر لتغيير مستوى حموضة التربة أو تركيب المغذيات الصغرى الموجودة فيها؛ ومن ثمَّ تجذب البكتيريا أو غيرها من الكائنات الدقيقة القادرة على التعاون لتحويل هذه المغذيات إلى صورة حيوية.[30]

حين تكون الموارد محدودة، بما في ذلك المغذيات والمياه والمساحة المتوفرة، قد تتنافس جذور النباتات. تستطيع الجذور الكشف عن وجود جذور أخرى أو حواجز مادية في التربة، والاستجابة وفقًا لذلك من خلال تثبيط نمو الجذور الجانبية والشعيرات الجذرية، مما قد يؤدي إلى الإقصاء التنافسي: أي عزل جذور النباتات أو فصلها، بحيث تحدُّ النباتات المجاورة من نموها لتفادي التشابك أو المنافسة.[31] وتقل حدة المنافسة بين الجذور حين تكون الموارد وفيرة في التربة.

تعرَّف الباحثون على عملية تنافسية في الجذور شبيهة بما يحدث فوق الأرض، تتمثَّل في تعديل النباتات لاستجابات جذورها وفقًا لما إذا كانت النباتات الجيران المجاورة من

الأقارب أو من الأغراب. وفي تجربة أُجريَت على أحد نباتات الكثبان الرملية، وهو نبات صاروخ البحر الذي ينمو في البحيرات العظمى، تبيَّن أنَّ كتلة جذور النباتات التي تنمو بالقرب من إخوتها كانت أقل من كتلة الجذور لدى النباتات التي تنمو بجوار أغراب. فنظرًا لأنَّ هذه النباتات لم تكن تحتاج إلى التنافس مع أقاربها، استطاعت تخصيص موارد أقل إلى جذورها.[32]

لا تشكِّل النباتات علاقات تعاونية مع النباتات الأخرى فحسب، بل أيضًا مع مجموعات أخرى تتنوَّع بين الفطريات والبكتيريا والحشرات. فهي تطلق مركَّبات في الهواء لجذب الحشرات اللازمة للتلقيح، أو لطرد الحشرات المفترسة. وتحت الأرض، تساعد المواد التي تفرزها الجذور في العمليات التعاونية. فهذه الإفرازات تتيح للنباتات التأثير في نطاقها الجذري؛ أي المنطقة المحيطة بالجذور، وفي الكائنات التي تسكنها. ويمكن لهذه الإفرازات أن تجذب الكائنات الدقيقة التي تساعد النبات في الحصول على المغذيات، كما أنها تؤدي دورًا في تمييز الأقارب. فقد أوضحت التجارب أنَّ إفرازات الجذور تساعد بعض النباتات على تمييز إخوتها من الغرباء.[33]

تعمل المواد الكيميائية المتطايرة التي تطلقها النباتات في الهواء بمثابة إشارات. فحين تُقضَم ورقةٌ أو ساق بفعل إحدى آكلات العشب، يُطلِق النبات جزيئاتٍ تنتقل إلى بقية أعضائه وإلى النباتات المجاورة أيضًا عبر الهواء. تمثِّل هذه الجزيئات إشارة خطر! يبادر متلقي الإشارة بإصدار استجابة دفاع كيميائية وقائية، أو غير ذلك من سلوكيات الوقاية لدرء الضرر.[34] تستخدم النباتات أيضًا الإشاراتِ المتطايرةَ في غير ذلك من التفاعلات بينها وبين النباتات الأخرى. فالنباتات الطفيلية، على سبيل المثال، تستطيع تمييز النبات المضيف من خلال المواد الكيميائية المتطايرة؛ إذ تستخدم على ما يبدو إشارات كيميائية مشابهة لتلك التي تستخدمها آكلات العشب لتحديد موقع النباتات والتمييز بينها.[35] ويبدو أنَّ النباتات تنتج هذه الإشارات الجاذبة بصورة أساسية، ربما كمركَّبات أيضية ثانوية أو منتجات أيضية فرعية؛ غير أنَّ نشاط أكل العشب أو التلف هو ما يحفِّز إنتاجَ المواد الكيميائية المحمولة عبر الهواء، التي تُستخدم للتحذير من الخطر.

تدخل المركَّبات المتطايرة أيضًا في آلياتٍ وقائيَّةٍ غير مباشرة. فحين تتعرَّض أوراق نباتات الذرة لهجومٍ من فراشةٍ أو يرقة عث، على سبيل المثال، يُطلِق النبات مادةً كيميائيةً تجذب دبورًا طفيليًّا، يعتبر من المفترسات الطبيعية لليرقة. فتتغذَّى الدبابير التي جذبَتْها المادة الكيميائية على اليرقات وتمنعها من إتلاف نبات الذرة.[36]

إضافةً إلى التواصل مع النباتات الأخرى والمفترسات والملقِّحات المحتملة، تبني النباتات أيضًا علاقات تعاونية تكافلية مع كائنات أخرى. فالتكافل، وهو عبارة عن تفاعلات بين كائنَين غير متشابهَين تفيد كلًّا منهما، ضروريٌّ للغاية لنمو النباتات وبقائها. والعديد من جذور النباتات يعقد تفاعلات طويلة الأمد مع البكتيريا المثبِّتة للنيتروجين؛ فتحصل النباتات على النيتروجين في صورةٍ يمكنها استخدامها، وتحصل البكتيريا على السكريات من النبات.

ومن العلاقات التكافلية المهمة أيضًا، علاقة الجذريات الفطرية، وهي علاقات ترابطية بين نبات وفطر، يقوم الفطر فيها بتحسين امتصاص النبات للماء وحصوله على النيتروجين والفوسفات، بينما يوفِّر النبات الغذاء للفطر في صورة مركَّبات كربونية.[37] تؤدي الجذريات الفطرية دورًا جوهريًّا في بناء المجتمع والتواصل. فالفطر الواحد يمكن أن يصل بين العديد من النباتات تحت الأرض، مما يؤدي إلى شبكات موسَّعة وإقامة مجتمعاتٍ من خلال جذور النباتات. وفي الوقت نفسه، يمكن لكل نباتٍ أن يُقيم مجموعةً فريدةً من العلاقات مع مجموعةٍ كاملةٍ مختلفةٍ من الفطريات. تؤسِّس الفطريات الجذرية شبكاتٍ لمشاركة الموارد من خلال السماح لجميع النباتات التي تتصل بها بمشاركة الكربوهيدرات.[38] وتُعد ارتباطات الفطريات الجذرية مهمةً للغاية لبقاء النباتات وازدهارها؛ فقرابة التسعين بالمائة من النباتاتِ الوعائيَّةِ تَحْظى بنوعٍ من ارتباطات الفطريات الجذرية.[39] إضافةً إلى ذلك، يمكن للنباتات التي تتصل جذورُها عبر الفطريات الجذرية أن تُرسل إشارات بعضها إلى بعض. فقد أوضحت التجارب التي أُجريَت على نباتات فول تتعرَّض لهجوم آفات المن، أنها أرسلت عبر الفطريات الجذرية إشاراتٍ إلى نباتات الفول الأخرى المتصلة بها، كي تحذِّر هذه الجِيرة المتصلة من وجود آفة المن التي قد تكون مدمِّرة.[40]

ومثلما هي الحال في جوانبَ أخرى من سلوكيات النبات، يبدو أنَّ الأقارب تحظى بمعاملة نفعية. فقد وجد الباحثون أنَّ نباتات عشبة الرجيد التي تنمو بجوار أقارب لها، تؤسِّس شبكات فطريات جذرية أوسع من تلك الي تؤسِّسها النباتات التي تنمو بجوار أغراب. والحق أنَّ مجتمعات الأقارب لدى النباتات تتسم بالمزيد من التفاعلات بين الفطريات والنباتات، والتي ترتبط بتوفير مزايا للنباتات، بما في ذلك الميزة التغذوية المتمثِّلة في احتواء الأوراق على محتوًى أكبر من النيتروجين.[41]

تنشئ جذور النباتات شبكاتِ الجذريات الفطرية بسرعةٍ حتى قبل أن يتمكَّن النبات من التوصُّل إلى حلول أطول أمدًا، مثل تشعُّب الجذور أو تنميتها.[42] يمكن للنباتات أيضًا أن تقومَ بتعديل هذه الارتباطات للاستجابة للظروف البيئية المتغيرة. فحين تكون مستويات الضوء منخفضةً وتقل كفاءة البناء الضوئي، قد تتضاءل الارتباطات الجذرية الفطرية.[43] فالنباتات التي تكون مستودعاتُ طاقتها محدودةً أو قدراتها ضعيفة بما لا يسمح بتجديد الطاقة، لا تستطيع الانخراط في سلوكياتٍ غير ضرورية مثل العلاقات التكافلية. ففي ظروف المحدودية البالغة للموارد، لا بد للنبات أن يُركِّز على الدعم الذاتي، فلا يستطيع الانخراط في مشاركة مركَّبات الكربون مع الفطريات مقابل الحصول على الفوسفور.

غالبًا ما تمتد العلاقات التكافلية التي تتَّسم بتبادل المنفعة، لتشمل أكثرَ من شريكَين فحسب، سواء أكانا نباتَين أم نباتًا وفطرًا. على سبيل المثال، اكتشف باحثون درسوا شجرةَ أكاسيا يقع موطنها الأصلي في المناطق الجافة في أفريقيا والشرق الأوسط؛ وجودَ جذريات فطرية وبكتيرية، وكلاهما يعيش في جذور الشجرة نفسها. ففي ظروف الملوحة العالية المسبِّبة للإجهاد، كانت شتلات الأكاسيا تنمو على نحوٍ أفضل كثيرًا حين طُعِّمت بكلا الكائنَين.[44] ثمَّة نظامٌ تكافليٌّ ثلاثيٌّ شبيهٌ يجمع بين بكتيريا التربة والجذريات الفطرية؛ يعزِّز نمو فول المونج وغيره من المحاصيل.[45] أحيانًا ما تكون هذه الشبكات التآزرية ظاهرة، لكنها مخفيةٌ عن الأعين في معظم الحالات. والتنوُّع في هذه الشبكات من شأنه دعم النمو المتكامل للنظام بأكمله، والحفاظ عليه، وفاعلية أدائه.

لقد رأينا في هذا الفصل أنَّ العلاقات التي تُكوِّنها النباتات مع غيرها، سواء أكانت نباتات أخرى أم حشرات أم فطريات أم بكتيريا، يُمكن أن تكون تعاونيةً أو تنافسية؛ فربما يكون الجيران أصدقاء، وربما يكونون أعداء. غير أنَّ النباتات تتبنَّى في المواقف التنافسية عددًا من الطرق التي تُتيح لها تجنُّب إنفاق طاقةٍ مفرطةٍ في سلوكيات عدائية. وإذا كان الجيران أقرباءَ لها، فإنها غالبًا ما تكوِّن علاقات نفعيةٍ مع هذه النباتات المجاورة. إنَّ اختيار التعاون يمكن أن يجلب نجاحات، ويعزِّز الحياة ويطيلها.

ومن خلال دراسة كيفية تفاعل النباتات مع غيرها، يُمكننا أن ندرك أهمية تأسيس نظامٍ بيئيٍّ قائمٍ على الدعم والتزامُل والمشاركة. إنني أفكِّر في شبكة علاقاتي المهنية وكيف أنها صارت ثريةً للغاية، وليس ذلك من خلال التعامل مع الأشخاص القريبي الصلة

بمجال تركيزي الدراسي بصفتي عالمةً في الكيمياء الحيوية فحسب، بل من خلال توسيع دائرتي لتشمل أشخاصًا يتمتَّعون بنقاط قوة في مجالات كنت أطمح إليها، ومنها الإرشاد والقيادة حين بدأت العمل في هذَين المجالَين. وقد اكتشفت أنا والمتعاونون معي في عملنا، أننا حين نحاول تطبيق هذا النموذج على العلاقات البشرية، فإننا نتصدَّى للمفهوم السائد الذي يركِّز على نماذج النجاح الفردي.[46] فعلى سبيل المثال، ليس من النادر أن تجد أفرادًا من أصول مهمَّشة أو من الجيل الأول، يُمنعون من دخول الشبكات المحلية للمعرفة في الأوساط التعليمية أو المهنية، وهو ما قد يعوق احتمالية تحقيق النجاح.[47] كثيرًا ما نصفُ هذا الوضع بعدم تمكُّن الأشخاص من معرفة القواعد غير الرسمية أو غير المكتوبة التي تنتقل شفاهةً ممَّن يعلمون بها. غير أننا نستطيع تعلُّم الكثير من العلاقات القائمة على الشبكات، التي تشكِّلها النباتات. فهي تقدِّم لنا أمثلةً يمكن أن نُطبِّقها على بناء علاقات تعاون شخصية ومهنية وتعليمية وتعزيزها (مثل الحدائق المجتمعية، وبرامج الإرشاد القائمة على المشاركة، والعمل المهني التعاوني)، وتقدِّم أيضًا دليلًا بارزًا على قوة المجتمعات المتنوعة. إنَّ تنمية العلاقات التكافلية والمجتمعات المترابطة التي تتسم بالدعم والقيم المشتركة أو التبادلية، والتي يكون كلُّ فردٍ من أفرادها منخرطًا في عمليةٍ تبادليةٍ يعطي خلالها شيئًا ما ويحصل على شيءٍ في مقابله، توفِّر فرصًا للنجاح الفردي ولبناء مجتمعٍ إنتاجيٍّ أكبر.

ومثلما تُعلِّمنا النباتات، فإنَّ الاستجابات للبيئة لا تلزم أن تكون فردية؛ بل يكون الأفضل في بعض الأحيان أن تصدر على نحوٍ تعاوني، سواء أكان ذلك في علاقات تتألَّف من اثنين أو ثلاثة، أم كجزء من شبكة واسعة النطاق. فأكثر الشبكات فعاليةً تؤسَّس وتستمر من خلال أنظمة تواصلٍ متينةٍ وتفاعلاتٍ متنوعةٍ مع المتعاونين والمنافسين المحتملين. ربما يستطيع البشر أن يتعلَّموا من النباتات تبنِّي تعريف أوسع للقرابة. إنَّ تعريفاتنا للقرابة لا تتوقَّف في معظم الأحيان عند هؤلاء الأفراد الذين هم إخوتنا جينيًّا؛ بل تمتد فعليًّا لتشمل الأفراد الذين نتشارك معهم خلفيةً ديموغرافيةً متشابهة، سواء أكانت عرقية أم إثنية أم اقتصادية اجتماعية. نحن نتجاوز بالفعل حدود العلاقات الجينية، ولكن ذلك لا يتم إلا على نحوٍ ضيق، حين يصبح هؤلاء الذين نضمِّنهم متساوين مع مَن نستبعدهم في القرابة الجينية بالنسبة إلينا.

ولكي نحسن نتائجنا، يمكننا الاستفادة من تضمين شراكات تتفرع لتتخطَّى انحيازاتِنا الحالية لِمَن نضمِّنهم في نطاق قرابتنا بخلاف أقاربنا البيولوجيين. وهذا

الجهد يستلزم العمل الشاق الذي يتمثَّل أولًا في إدراك التحيزات؛ ومن ثم مواجهتها. بالرغم من ذلك، إذا نجحنا في هذا الصدد، فإن توسيع شبكة مَن نعتبرهم من أقربائنا ونضمِّنهم فيها يمكن أن يُغيِّر بيئتنا الحالية على نحوٍ درامي، ويغير إمكانية النجاح والازدهار للجميع.



«ما من مخاطرة أدعى للخوف من تلك التي يقوم بها الجذر الأول. فالجذر المحظوظ سيجد الماء في النهاية، لكنَّ مهمته الأولى هي أن يجد مستقرًّا.»

هوب جارين
«فتاة المختبر»

الفصل الثالث

المخاطرة من أجل الفوز

ربما تكون قد أُعجِبت بالبَتَلات الصفراء لنبات الكناري الزاحف، واللون الأرجواني المدهش لزهور نجمة البراري، واللون البرتقالي الزاهي لزهور القطيفة حين رأيتها على جانب الطريق أو في حديقة أو حقل. كل هذه الزهور من أنواع الزهور البرية الحولية؛ أي إنها من النباتات التي تُكمل دورة حياتها في موسم نمو واحد. إذا كنت بستانيًّا، فإنك تعرف كيف تزرع الزهور الحولية (مثل البانسيه والزينيا) كل ربيع، لكنك تعتمد على النباتات المعمِّرة (مثل زنبق النهار والفاونيا) في النمو من جديد عامًا بعد عام. أما في البرية، فعادةً ما تنبثق الحوليات من البذور بعد حدوث اختلالٍ ما، مثل موسم شتاء أو موسم جفاف. تنمو هذه الحوليات وتزهر وتموت خلال فترة قصيرة من الوقت. إنَّ النمو في مثل هذه الظروف غير الأكيدة استراتيجية تنطوي على مجازفة، لكن لها بعض المميزات أيضًا. فهذه النباتات الصغيرة تقلِّل من طاقتها التي تخصصها إلى النمو الخضري، وتختار بدلًا من ذلك أن تنمو سريعًا وتستثمر في الإزهار وتكوين البذور.[1] فمن خلال تبني دورة حياة قصيرة، تتجنَّب الاضطرار إلى التصارع مع النباتات الأقوى للحصول على ضوء الشمس وموارد التربة. فلا بد من حساب مخاطرة التعرُّض للمفترسات وآكلات العشب مقابل الحصول على الاحتياجات الكاملة من الشمس والمغذيات.

إنَّ قرار البذرة بالإنبات مخاطرة تقرر خوضها. أينبغي على الزهرة أن تنبت بعد التعرُّض لزخة واحدة من المطر، أو يوم دافئ واحد، أم ينبغي عليها الانتظار حتى تصبح التربة رطبة تمامًا، وتصبح درجات الحرارة معتدلة باستمرار؟ لقد تطورت بعض الأنواع لتصبح مقبِلة على المخاطرة وليس لها سوى حد منخفض من المتطلبات للإنبات، بينما تطورت بعض الأنواع الأخرى لتصبح متجنبة للمخاطرة، وتنتظر إلى أن تغدو الظروف أكثر ملاءمة.[2] ربما تكون فكرةُ أنَّ النباتات تقيِّم المخاطرةَ جديدةً عليك، لكنَّ علماء

النباتات أصبحوا يعرفون أنَّ النباتات تقيِّم المخاطر بنفس طريقة الحيوانات تقريبًا. ومثل هذا التقييم يقف وراء العديد من الأنشطة التي تقوم بها. قد يكون بعض هذه السلوكيات ثابتًا جينيًّا، لكنَّ بعضها مرن ويتضمن قرارات يتخذها النبات خلال حياته.

يمكن للطريقة التي تدرك بها النباتات المخاطر وتقيِّمها أن تقدِّم لنا رؤًى ثاقبة مدهشة. فحين تكون الظروف المحلية دون المستوى الأمثل، تصدر النباتات استجاباتٍ تتسم بالمخاطرة بدرجة أكبر مما قد نتوقَّعه، لا سيما ونحن معتادون على ملاحظة الحيوانات التي تمتلك القدرة على الانتقال إلى مكان آخر. إنَّ حقيقة أن النباتات تعيش دورة حياتها بأكملها في بيئة واحدة تقدِّم منظورًا فريدًا عن المخاطرة الفعالة. فالنباتات تقيِّم المخاطر وتستجيب للندرة بطرق مذهلة، وذلك كله بينما هي ثابتة في مكانها.

في المملكة الحيوانية، غالبًا ما تكون القرارات المتعلقة بسلوك خوض المخاطرة أو تجنُّبها مدفوعةً بالتنوُّع البيئي في توافر الموارد، وتتأثَّر بالمخاوف المتعلقة باستخدام الطاقة. وقد وضع العلماء مفهومًا يسمَّى نظرية الحساسية للمخاطرة، للتنبؤ بكيفية استجابة حيوانٍ ما للمخاطرة، فيما يتعلق بالأساس بميزانيته من الموارد، والتخصيص الاستراتيجي للطاقة. ووفقًا لهذه النظرية، فإنَّ حيوانًا يواجه أحد المفترسات، على سبيل المثال، سيقرِّر إما الهروب وإما الدفاع عن نفسه بناءً على مقدار الطاقة التي يحتاج إليها للقيام بالعمليات الداخلية مثل النمو والنشاط والتكاثر، وأيضًا الطاقة التي يحتاجها للاستجابة للعوامل الخارجية مثل درجة الحرارة.[3]

لقد ظللنا على مدار وقت طويل نعتقد أنَّ النباتات لا تنخرط في تقييم للمخاطر، لكنَّ العديد من الدراسات الحديثة يوضح أنها تفعل ذلك. لا شك أنَّ سلوك النباتات يختلف بعض الشيء عن سلوك الحيوانات. فقد تستجيب النباتات لتهديدٍ ما بإعادة تخصيص مواردها، بينما تستخدم الحيوانات الموارد للهروب (أو المواجهة).[4] بالرغم من ذلك، وعلى غرار الحيوانات، تنزع النباتات أيضًا إلى خوض المزيد من المخاطرات في البيئات الديناميكية أو غير المتوقعة وفي أوقات الندرة. فإذا كانت جذور النباتات تقع بين بيئتَين تتسم إحداهما بمستوًى منخفض من المغذيات لكنه ثابت، بينما تتسم الأخرى بمستويات متباينة منها، فإنَّ النبات سيختار التشعُّب بجذوره في المنطقة ذات المستويات المتباينة. فالنبات يقامر في هذه الحالة على تعرُّضه لمستويات كافية من المغذيات، حتى وإن كان ذلك على نحوٍ متقطع.[5] ينتمي هذا السلوك إلى نوعية سلوك استشعار المخاطرة نفسه

الموجود لدى الحيوانات. ففي الظروف التي يوجد فيها إمداد ثابت وكافٍ من الموارد، يخوض الأفراد عددًا أقل من المخاطرات. أما حين يتباين مستوى الموارد، فغالبًا ما يتبنى الأفراد سلوكيات المخاطرة، من أجل زيادة احتمالية النجاح على المدى الطويل.

إنَّ سلوك تقييم المخاطر واتخاذ القرار يوجِّهان النبات في جميع مراحل دورة حياته تقريبًا. فمنذ الوقت الذي تظهر فيه الشتلات، يقيِّم النبات احتياجاته من الضوء والمغذيات، ويقوم بتكيفات بناءً على مدى توافر هذه الموارد. ونظرًا لأنَّ النباتات ترصد الإشارات البيئية باستمرار، فيمكنها أن تلاحظ سريعًا حال تغيُّر الوضع، وتصدر استجابة قصيرة المدى أو طويلة المدى، حسبما يستدعي الموقف. وقد وجد العلماء أنَّ النباتات شديدة الحساسية على نحوٍ مذهل تجاه التغيرات في مستوى الموارد، سواء في المكان أو الزمان. ومن الجدير بالملاحظة أنها لا تستطيع تحديدَ ما إذا كان تركيز مورد محدَّد يتغير أم لا فحسب؛ بل تستطيع أيضًا تحديد مستوى سرعة تغيره (أي شدة الانحدار).[6] إنَّ الاستجابة لمثل هذه الظروف البيئية الديناميكية تنطوي على مخاطرة، لكن مثل هذه الاستراتيجية على المدى الطويل ستحسن النمو والبقاء.[7]

تقيِّم النباتات العائد المحتمل على الاستثمار لإعطاء الأولوية في تخصيص الطاقة للنمو أو التكاثر أو في الدفاع، وذلك وفقًا للظروف البيئية وتوافر الموارد. ويمكن للمركَّبات العضوية المتطايرة أن تعمل بمثابة إشارات فعَّالة بشأن ظروف الحاضر والمستقبل؛ ومن ثمَّ تساعد النباتات على اتخاذ قرارات بشأن كيفية تخصيص الطاقة. فمثلما رأينا في الفصل الثاني، تطلق النباتات التي تتعرَّض لهجوم آكلات العشب مركَّبات عضوية متطايرة تقدِّم إشارة تحذير للنباتات الأخرى. ولكن أينبغي على النبات المتلقي لتلك الإشارة تخصيص المزيد من الموارد لوقاية نفسه من هجومٍ قد لا يحدث حتى؟ أوضحت دراسة مذهلة أُجريَت على عشبة الميرمية أنَّ احتمالية تجهيز دفاعٍ ما استجابةً لإشارات التحذير كانت أكبر لدى النباتات التي زُوِّدت بمياهٍ إضافيةٍ من النباتات التي لم تستقبل سوى مياه الأمطار؛ أي إنَّ النباتات التي حظيَت بموارد إضافية كانت أكثر استعدادًا لتخصيص طاقةٍ للدفاع.[8] وفي تجربة مشابهة على نباتات البازلاء، أصدرت النباتات المجهدة من نقص المياه، إشارات أُرسِلت على الأرجح عبر الجذور، إلى النباتات المجاورة غير المجهدة، وكانت هذه الإشارات تحمل تحذيرًا بالخطر. وأصدرت النباتات المجاورة استجابةَ إجهاد يرجَّح أنها كانت ترقبًا لجفاف قادم.[9]

يشيع سلوك المخاطرة على وجه الخصوص حين تكون الموارد متنوعة أو محدودة. فيمكن للنباتات أن تستجيب بإعادة توزيع الموارد (على المدى القصير أو الطويل)، أو

إيجاد طرق للحصول على المزيد من الموارد، أو التوقُّف عن النمو، أو يمكنها أن تقرِّر، في الحالات القصوى، أنَّ البيئة غير مناسبة لاستمرار الوجود. فعلى سبيل المثال، يستطيع النبات المزهر الذي يجد نفسه مفتقرًا إلى ما يكفي من ضوء الشمس والمغذيات من أجل البقاء، أن يوجِّه مخازن طاقته نحو إنتاج البذور. فهذه البذور قد تُنقَل عبر الرياح أو الحيوانات إلى بيئة مختلفة، أو قد تسقط على الأرض وتُخزَّن إلى أن تصبح الظروف مواتيةً لها أكثر.[10]

تعمل النباتات بمثابة «خبراء استراتيجيين ديناميكيين»؛ إذ تغيِّر سلوكها وفقًا لوعيها بالإجهاد أو عناصر النقص البيئية.[11] لنستكشف هذا أولًا في حالة المغذيات. إنَّ النباتات التي تحصل باستمرارٍ على مستوياتٍ مرتفعةٍ من المغذيات لا تحتاج إلى القيام بمخاطرات. فهي تكتفي بتوزيع جذورها في الحيز الغني بالمغذيات.[12] وحين يكون مستوى المغذيات منخفضًا أو غير موزَّع بالتساوي، ستكون مجازفةً أن يبدأ النبات عمليةً مستهلكة للطاقة. ومع ذلك، تستخدم بعض النباتات الطاقة في هذه الحالات لتحفيز تشعُّب الجذور واستطالتها؛ لأنَّ فائدة العثور على مغذيات نادرة تفوق تكلفة إنتاج جذور جديدة أو جذور أطول.

من الاستجابات الأخرى لانخفاض مستوى توافر المغذيات، تكسير صبغة الكلوروفيل (إزالة الاخضرار)؛ وذلك لتقليل الأيض الخلوي الذي يعتمد على المغذيات المحدودة، أو زيادة القدرة على امتصاص المغذيات المستهدفة من التربة.[13] من الجدير بالملاحظة أيضًا أنَّ النباتات ذات الموارد المحدودة تتسم بكونها أدقَّ كثيرًا في القرارات المتعلقة بتخصيص الطاقة، وربما يكون ذلك لأنَّ مخاطر تقليل امتصاص المغذيات والآثار المزعجة على النمو والتكاثر، ستكون أعظم في حالة اتخاذ قرار خاطئ.[14]

يُعد الحديد من المغذيات الأساسية للنباتات نظرًا لضرورته للقيام بعملية البناء الضوئي. وهو يوجد في الأنظمة الضوئية التي تمتص الضوء، ويُستخدَم في مرافقات الإنزيمات اللازمة لإجراء التفاعلات الكيميائية المتعلقة بحصاد الضوء.[15] بالرغم من ذلك، غالبًا ما يوجد الحديد في التربة في صورة مؤكسدة غير قابلة للذوبان، مكافئة للصدأ، وهي صورة لا تستطيع جذور النباتات امتصاصها أو استخدامها لتكوين المركَّبات التي تدعم الأيض والبناء الضوئي.[16] وتنفِّذ النباتات العديد من الاستراتيجيات المختلفة لحل هذه المشكلة، وفقًا لما إذا كان نقص الحديد طفيفًا أم بالغًا.

تستطيع بعض النباتات زيادة ما تمتصه من الحديد من خلال مركَّبات كيميائية تُسمى حاملات الحديد، تعمل على ربط الحديد ونقله. ويشيع استخدام هذه الاستراتيجية أكثر ما يشيع في الحشائش النجيلية.[17] تفرز الجذور حاملات الحديد في التربة حيث تشكل مجمعات مع الحديد. وتُمتَص مُجمعات الحديد وحاملات الحديد من خلال بروتينات متخصصة تُسمى بالبروتينات الناقلة.[18] بعد ذلك، تقوم خلايا النبات بتحويل الحديد من صورة غير قابلة للذوبان إلى صورة قابلة للذوبان، تُطلَق من أجل الاستخدام الأيضي.

بعض النباتات الأخرى، والتي غالبًا ما تكون نباتات غير نجيلية أحادية الفلقة (أي نباتات عشبية بخلاف النجيلة) ونباتات من ذوات الفلقتين، تستخدم استراتيجيات مختلفة للحصول على الحديد.[19] تنطوي إحدى هذه الاستراتيجيات على إفراز بروتونات من الجذور، مما يزيد من حامضية التربة ومن قابلية الحديد للذوبان. وثمة استراتيجية أخرى تعتمد على التعامل مع أنواع محددة من جراثيم التربة تصنِّع حاملات الحديد الخاصة بها.[20]

إلى جانب الحديد، توجد مغذيات أخرى ضرورية لوظائف أعضاء النبات، وبنيته ووظائفه. فيوجد النيتروجين الذي يؤدي دورًا بالغ الأهمية كواحد من مكوِّنات الأحماض الأمينية (وهي وحدات بناء البروتينات) ومكوِّنات صبغة الكلوروفيل أيضًا.[21] وكما في حالة الحديد، يحفِّز نقص النيتروجين على المدى القصير استجاباتٍ تزيد من امتصاص النيتروجين واستخدامه. تنطوي بعض هذه الاستجابات على تغيرات في البنية أو النمو، مثل التغيرات التي تحدث في هيئة الجذور.[22] تبدأ النباتات في زيادة تشعُّب نظامها الجذري لزيادة نطاق البحث عن النيتروجين، وذلك ما لم يستمر النقص فترة طويلة. ففي ذلك الوقت، قد يحد النبات من نمو الجذور لحفظ الطاقة من أجل البقاء أو التكاثر.[23] وينطوي تكاثر الجذور على استثمار كبير للطاقة قد تكون فيه مخاطرة؛ إذ يراهن النبات بذلك على أنَّ الاستثمار في توسيع النظام الجذري سيزيد من فرص الوصول إلى بقعة غنية بالنيتروجين.

وعلى غرارِ ما رأيناه في أنواع الاستراتيجيات الأخرى التي تهدف إلى الحصول على الموارد، يمكن للنباتات اختيار إما الاستجابات الفردية أو التعاونية. وينطبق الأمر نفسه على توافر النيتروجين أيضًا. فالعديد من النباتات يستجيب لنقص توافر النيتروجين بتكوين علاقات تآزرية مع البكتيريا المثبِّتة للنيتروجين. قد تتواجد هذه البكتيريا داخل الجذور في تراكيبَ تُسمى بالعُقيدات الجذرية أو على سطح الجذر.[24] ويتضمن هذا

التفاعل التكافلي تبادلًا ثنائيًّا يفيد كلا الطرفين. فالنباتات تنقل الكربون إلى البكتيريا التي، بدورها، تنتج النيتروجين في صورة يمكن للنبات امتصاصها بسهولة.

من المغذيات الأخرى المهمة للنباتات عنصر الفوسفور الذي يوجد طبيعيًّا في التربة بمستويات منخفضة نسبيًّا.[25] للفوسفور دور جوهري في نمو النبات وتطوره والحفاظ عليه؛ إذ إنه أحد مكوِّنات الحمضين النوويين: الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (دي إن إيه)، والحمض النووي الريبوزي (آر إن إيه)، إضافةً إلى جزيء تخزين الطاقة (أدينوسين ثلاثي الفوسفات) والشحوم الفوسفورية التي توجد في الأغشية الخلوية.[26] تتَّبع النباتات العديد من الاستراتيجيات المختلفة حين تواجه نقصًا في الفوسفور. ويتمثل أحد الخيارات في زيادة قابلية الفوسفور للذوبان من خلال تغيير حامضية التربة عبر إفراز البروتونات، مثلما يحدث في حالات نقص الحديد.[27] وفي حالات التكيُّف الطويل المدى، قد يُوجَّه المزيد من الطاقة لتكاثر الجذور. وهذه الاستجابة شبيهة أيضًا بما يُلاحَظ في حالات نقص النيتروجين.[28]

وكما هي الحال في ظروف نقص النيتروجين، يتمثل أحد حلول التأقلم الطويل المدى على انخفاض مستويات الفوسفور، في العلاقات التعاونية. فمثلما رأينا في الفصل الثاني، طوَّرت بعض النباتات القدرة على التفاعل مع الفطريات من خلال تكوين الفطريات الجذرية. وهذه الشراكة التكافلية تمكِّن النبات من امتصاص الفوسفور من التربة بكفاءة أكبر.[29]

من المهم أن نراعي أنَّ النباتات حين تنخرط في علاقات تكافلية لزيادةِ ما تحصل عليه من المغذيات، فإنها بذلك لا تزال تخاطر. فحين تخصِّص النباتات جزءًا من طاقتها لتكوين مثل هذه العلاقات، فإنها تثق في التبادل، إضافةً إلى ثقتها في أن حصولها على موارد أفضل سيزيد من لياقتها وتحمُّلها. ومن ثم يتوقَّع النبات أنَّ العائد من العمل معًا لزيادة الحصول على الموارد سيكون أكبر من تكلفة إنتاج السكريات الذي يهديه لشركائه من الفطريات. وهذا لا يحدث دائمًا. ففي بعض الحالات، تكون تكلفة إنتاج الكربون على النبات أكبر من فوائد التغذية التي يحصل عليها في المقابل، مما يحوِّل الارتباط الجذري الفطري من علاقة تكافلية إلى طفيلية.[30]

ومثلما تغيِّر النباتات سلوكها بناءً على توافر المغذيات وتقييم المخاطر، يجب عليها أيضًا أن تراعي توافر غير ذلك من العوامل البيئية الحيوية المتغيرة، لا سيما الضوء والمياه.

حين لا يحصل النبات على كمية كافية من الضوء، سواء أكان ذلك بسبب الظل أم المنافسة، فلا بد له من التكيُّف. ومن أساليب التكيُّف البنيوية الطويلة المدى التي يتخذها النبات استجابةً لنقص الضوء، تغيير بنية الورقة. فالأوراق التي تنمو في ضوء الشمس الكامل، والتي تُسمى بأوراق الشمس، تكون سميكة وعدد خلايا النسيج العمادي بها أكبر من عدد خلايا النسيج الوسطي الإسفنجية. تحتوي خلايا النسيج العمادي على عدد كبير من البلاستيدات الخضراء، التي تُعَد محرِّكات البناء الضوئي؛ أما خلايا النسيج الوسطي الإسفنجية، التي تشكِّل النسيج الداخلي للورقة، فتحتوي على عدد أقل من البلاستيدات الخضراء، وحيِّز أكبر فيما بين الخلايا. وبالمقارنة بأوراق الشمس، نجد أنَّ أوراق الظل أرق؛ إذ تحتوي على كمية أقل من صبغة الكلوروفيل، ومحتواها من خلايا النسيج الوسطي يفوق محتواها من خلايا النسيج العمادي.[31]

إنَّ بناء ورقة نبات استثمار مكلِّف؛ ومن ثمَّ ينطوي على مخاطرة. وثمة بنية محدَّدة للأوراق من شأنها تحسين احتجاز الضوء وتحويله إلى طاقة كيميائية في بيئة محدَّدة. وهذه البنية المحددة للورقة نفسها ستكون أقل نجاحًا في بيئة مختلفة. فأوراق الشمس لا تؤدي وظائفها جيدًا في الظل؛ إذ تحتوي من الكلوروفيل على كميةٍ تفوق كثيرًا كمَّ الضوء المتاح. أما أوراق الظل، فتكون عرضة للتسمم الضوئي في ضوء الشمس الكامل؛ إذ تنتج كميات أقل من الصبغات الواقية من الضوء كمقايضة لاستثمار الطاقة في بنية محددة للورقة وغيرها من وظائف الأعضاء المتعلقة بالظل.[32] وبهذا، فإنَّ الاستثمارات في بنية الورقة تنطوي على مخاطر؛ إذ ربما تنتهي الحال بالورقة في بيئة ضوئية لا تلائم تكوينها. تزن النباتات هذه المخاطر من خلال تقييم ما إذا كان التعرُّض إلى بيئة محددة أو مستوًى محدد من الموارد (الوفرة أو النقص) أمرًا واردَ الحدوث على المدى القصير أو الطويل. فإذا كان هذا التعرُّض واردًا على المدى الطويل، فقد يكون تغيير بنية الورقة أمرًا مرغوبًا.

توجد أيضًا مخاطر تتعلَّق بتغيير جوانب أخرى من بنية النبات، مثل نمو براعم أو فروع جديدة. يمكن للنبات تنظيم عدد الفروع الحديثة التبرعم وحجمها، والتي يكون استهلالها وتطويرها عملية مكلِّفة على مستوى الطاقة، من أجل إدارة المخاطر البيئية. في بعض الحالات، يكون الاستثمار في أغصان وأوراق إضافية أمرًا يعود بالنفع على النبات، مما يمكن أن يدعم مزيدًا من الإزهار وإنتاج البذور. ولكن قد يكون الأفضل في حالات أخرى أن يحدَّ النبات من النمو وينتقل إلى الإزهار بسرعة قبل تدهور الظروف البيئية. فقد وجد الباحثون الذين يدرسون حوليات إقليم البحر الأبيض المتوسط، أنَّ النباتات

تُجري تقييمًا للمخاطر والتكاليف المحتملة للاستثمار في زيادة حجم المجموع الخضري بناءً على مدى موثوقية الإشارات البيئية. فكانت تعدِّل أنماط نموها للاستجابة للإشارات الموثوقة مثل طول فترة النهار، بدرجة أكبر مما كانت تعدل بها هذه الأنماط للاستجابة للإشارات غير الموثوقة مثل توافر الماء.[33]

ثمَّة سلوك آخر يرتبط بالمخاطر يتعلَّق بحفظ الماء. تحتوي الأوراق على مسامات صغيرة تُعرف بالثغور، تعمل على امتصاص ثاني أكسيد الكربون وطرد بخار الماء. وتعمل النباتات على ضبط فتح الثغور وإغلاقها لتنظيم توازن المياه، وقد طوَّرت استراتيجيات مختلفة بناءً على اعتبارات المخاطر. يقسِّم علماء النبات النباتات إلى فئتين كبيرتين وفقًا لكيفية تنظيم وضعها المائي. تُدعى إحدى هاتَين المجموعتَين النباتات المتسقة الهيدروجينية، وهي تحافظ على مستوًى ثابت نسبيًّا من محتوى الماء في أوراقها. وتقوم بذلك من خلال إغلاق ثغورها أثناء الجفاف لمنع بخار الماء من التطاير. وبالرغم من أنَّ هذه الاستراتيجية تحافظ على الماء، فإنَّها تتسم بعيبٍ يتمثَّل في تقليل كمية ثاني أكسيد الكربون الممتصَّة، مما يقلِّل من معدل البناء الضوئي وإنتاج مركَّبات الكربون المستخدمة للطاقة. أما المجموعة الأخرى، وهي النباتات غير متسقة الهيدروجينية، فلا تحتفظ بمحتوًى ثابتٍ من المياه في أوراقها. وفي ظروف الجفاف، تُبقي هذه النباتاتُ ثغورَها مفتوحةً فترة أطول؛ وبذلك تُحافظ على معدلاتٍ أعلى من البناء الضوئي. يُعَد إبقاء الثغور مفتوحةً سلوكًا خطِرًا؛ لأنَّ النبات قد يتعرَّض حينها للجفاف بدرجةٍ بالغة. غير أن هذا النبات إذا نجا، فالأرجح أنه سيتفوَّق بميزةٍ في اللياقة على غيره من النباتات التي تختار الحفاظ على المياه؛ لأنه استطاع الحفاظ على إنتاجية البناء الضوئي.[34]

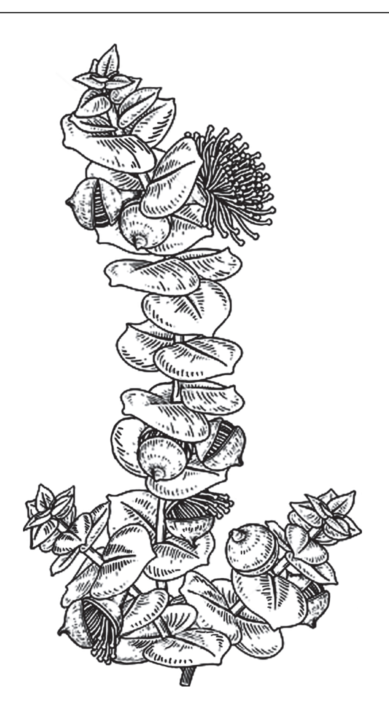
مثلما رأينا، تقوم النباتات بمخاطراتٍ باستمرارٍ عند تقييم الفرص واتخاذ القرارات بشأن الاتجاه الذي ينبغي عليها توجيه طاقتها فيه. والنباتات التي تتخذ قرارات استثمار سيئة، قد لا تنجح في البقاء، بينما ستزدهر النباتات التي تتخذ قراراتٍ جيدة.

وعلى غرار جميع النباتات، ينبغي على زهور نجمة البراري التي تنمو على جانب الطريق، أن تُقيِّم المخاطر عند الاستجابة للظروف البيئية المباشرة، غير أنَّ استراتيجية حياتها بأكملها أشبهُ بمقامرة. لقد طوَّر هذا النبات تاريخ حياةٍ مختلفًا عن تلك النباتات التي تعيش على مدار الأعوام. فالزهور البرية الحولية تضع كامل طاقتها في النمو، بل النمو السريع، خلال تلك «النافذة» المتاحة من ضوء الشمس، وأنا أعني هذا التشبيه

بالفعل وليس على سبيل المجاز. فنظرًا لِقِصَر حياتها، تتمتَّع هذه النباتات بفرصةٍ أكبر في تجنُّب المفترسات، من تلك التي تتمتَّع بها النباتات التي تعيش لفترة أطول. وإذا نجحت في البقاء والتكاثر، فسوف تترك بذورًا مخزنة في الأرض بأمان وجاهزة للانبثاق في موسم النمو التالي، أو بعد حدوث قلقلةٍ ما. وفي هذه الأثناء، ستبدأ النباتاتُ المعمِّرةُ المنافسة الأكبر حجمًا، لتوها في الانبثاق وفرض هيمنتها في النظام البيئي. فعلى المدى الطويل، تؤتي مخاطرة الحوليات بثمارها.

إنَّ سلوكيات اتخاذ المخاطرة وتجنُّبها، التي تنخرط فيها النباتات، توضِّح طرقًا حكيمة للوجود، يمكن لنا، نحن البشرَ، أن نستفيد كثيرًا من مضاهاتها. تعتمد النباتات على الاستشعار الدقيق للبيئة للحصول على المعلومات التي تُمكِّنها من تحديد المخاطر المحتملة وترشدها في عملية اتخاذ القرار. فتقيِّم الموارد المحدودة، والكائنات المتاحة للتعاون معها للمساعدة في تخفيف حدة نقص موارد محددة، والكيفية التي يمكن استخدامها لإقامة علاقات تعاونية والحفاظ عليها لتحسين الحصول على الموارد. تُقرِّر النباتاتُ الاتجاه الذي ينبغي أن تخصص له طاقتها وفقًا للمخاطر التي تستطيع القيام بها. فلكي تتمكَّن النباتات من البقاء والازدهار، لا بد أن تفحص جميع جوانب البيئة المحيطة بها باستمرارٍ وتُقيِّمها، بما فيها توافُر الضوء والمياه والمغذيات، وكذا النباتات والبكتيريا والفطريات وغيرها من الكائنات المجاورة لها.

نستطيع — نحن البشر — أن نتعلَّم كيفية استشعار محيطنا وتقييم المخاطر ودعم بعضنا بعضًا على نحوٍ أفضل مثلما تفعل النباتات. ينبغي علينا أن ندعمَ الأهدافَ القصيرة المدى والطويلة المدى لبعضنا بعضًا، وأن ندعم أيضًا فرص بعضنا بعضًا وقراراتنا بشأن كيفية تخصيص مواردنا وإعادة توزيعها، وكذلك التوقيت الملائم للتحولات الشخصية أو المهنية بما يتلاءم مع المعايير البيئية، سواء أكان الهدف نموًّا فرديًّا أم مجتمعيًّا. ولإنجاز هذه المهام، علينا أن نكون بارعين في الرصد البيئي. فنظرًا لامتلاكنا قدرًا محدَّدًا من الطاقة يتوفَّر في فترةٍ معينةٍ لجميع أنشطتنا، علينا أن نكون حريصين في اتخاذ القرار بشأن الموضع الذي سنضع فيه طاقتنا، والمخاطر التي تستحق خوضها. وعلى غرار النباتات، يحتاج البشر إلى اتخاذ قرارات استراتيجية بشأن كيفية استخدام موارد طاقتنا المحدودة لتحقيق أقصى ما يمكن من النمو والنجاح في بيئتنا الديناميكية.



«إنَّ الرغبة تجعل النباتاتِ شجاعةً للغاية حتى تستطيع أن تجدَ ما ترغب فيه؛ وتجعلها رقيقةً للغاية حتى تستطيع أن تشعرَ بما تجده.»

إيمي ليتش
«أشياء لها وجود»

الفصل الرابع

التحوُّل

في طريقي إلى العمل كل يوم، أمر بسيارتي على قطعة أرض مهجورة تعود لمصنع. وقد رأيتها تتغيَّر عامًا بعد عام. كانت قاحلةً في البداية، ثم أصبحت مغطاةً بالحشائش، أما الآن فتضمُّ مجتمعًا من النباتات المزهرة والشجيرات والأشجار اليافعة. وكان من المذهل تمامًا لي أن أرى تلك الأرضَ المقفرةَ وهي تتحوَّلُ إلى مجتمعٍ ناجحٍ مختلطٍ من النباتات. لقد كنت شاهدةً على ما قامت به النباتات من تحويل الأرض تدريجيًّا إلى نظامٍ بيئي ثري.

إنَّ هذا التحوُّل التدريجي الذي حدث في هذه الأرض الحضرية؛ شبيهٌ بما يحدث في البرِّية بعد وقوع كارثةٍ مثل ثوران بركاني أو فيضان. فبعد الثوران، تتدفَّق الحمم البركانية على جانب الجبل؛ فتحرق كلَّ ما في طريقها وتُدمِّره، وتغطِّي الأرض بطبقةٍ تتصلَّب حين تبرد. وينتج عن هذا تكوين موطنٍ بيئيٍّ جديدٍ: أرض شبه مجدبة، وخالية في معظمها من أي كائناتٍ حية. كان هذا هو المشهد الذي حلَّ على جبل سانت هيلين عام ١٩٨٠، حين حدث ثوران بركاني أعقبه انزلاقٌ أرضيٌّ بسبب انهيارٍ جزئي للجبل. خلَّف هذا الحدث دمارًا كاملًا وتجريفًا شديدًا للأرض في أعقابه. وفي النهاية، بدأت النباتاتُ في النمو من جديد. كان قد تبقَّى بعض البذور في التربة وتمكَّنَت من الإنبات. وأتى بعضُها الآخر إلى المنطقة؛ إذ حملتها الطيور أو تيارات الرياح. وتجدَّدَت بعض النباتات أيضًا من الجذور أو الغصون التي نجَتْ من الانفجار البركاني.[1] بعد اضطرابٍ كهذا، يتحدَّد المعدل الذي تستقر به النباتات بناءً على كمية الرطوبة المتاحة، إضافةً إلى قدرة النباتات المستعمِرة على غَرْس جذورها والعيش على المغذيات المحدودة الموجودة في الرماد البركاني أو الحمم المتصلبة.[2]

لقد رأينا مدى قدرة النباتات على الازدهار مهما كانت ظروف البيئة التي توجد بها، نظرًا لقدراتها المذهلة على إدراك ما يجري حولها، والتكيُّف، وحتى التغيير من نفسها أو

بيئتها لدعم نموها وبقائها على نحوٍ أفضل. وسنركِّز في هذا الفصل على قدرتها على تغيير بيئتها لإتاحة الموارد التي تحتاج إليها بمزيدٍ من السهولة.

ليس الثوران البركاني إلا مثالًا واحدًا على الاضطرابات التي تغيِّر الأنظمة البيئية للنباتات. وثمة مثالٌ آخر على ذلك يتعلَّق بالحرائق. فبعد أن يشتعلَ حريقٌ على الأرض يؤدي إلى الإخلال بالنظام البيئي، قد تُترَك التربة قاحلة في معظمها وعرضة للتآكل، أو ربما تبقى بعض بقايا المادة العضوية أو النباتات.[3] تعود النباتات في نهاية المطاف، وأحيانًا تعود بسرعة إلى حدٍّ ما. ثمة الكثير من العوامل التي تحدِّد أيَّ الأنواع يبقى أو يظهر من جديد بعد حريقٍ ما، من بينها شدة الحريق، وتكوين الأنواع التي كانت موجودة قبل الحريق، وتكوين بنك البذور. فإنبات بذور بعض الأنواع، مثل بذور العديد من أنواع أشجار الصنوبر والكافور والسيكويا والحور الرجراج والقضبان، يُحفَّز بالنار أو الدخان.[4] وبعض النباتات الأخرى مثل العديد من أنواع الحشائش وبعض أنواع البلوط والكافور، يمكن أن يتجدَّد من الجذور بعد الحرائق.[5]

تمكَّنت النباتات أيضًا من إعادة ترسيخ نفسها في بيئاتٍ شديدة السمية، مثل تشرنوبل في أوكرانيا، التي شهدت وقوع كارثة الإشعاع النووي عام ١٩٨٦.[6] فقد مات العديد من أشجار المخروطيات مثل الصنوبر الاسكتلندي بعد الحادث النووي نظرًا لشدة حساسيتها للإشعاع. غير أنَّ الأرض تجدَّدت بسرعةٍ نسبيًّا؛ إذ نَمَت أشجارٌ نفضية أكثر مقاومة للإشعاع من جديد.[7] بالرغم من ذلك، لم تَمُت جميع أشجار المنطقة، وقدَّمت بذلك مادة ثمينة للدراسة. ولكي يتمكَّن العلماء من قياس تأثير كارثة الإشعاع على نمو الأشجار وتعافيها قبل الحادث وبعده، أخذوا عينات من لبِّها. قيَّم العلماء عينات اللب لفحص اتساع الحلقات، والذي يُعد مؤشرًا جيدًا على النمو القطري وكذلك جودة الخشب.[8]

تتكوَّن حلقات الأشجار من طبقة رقيقة من الخلايا تُسمى بخلايا الكامبيوم الوعائية، التي يتكوَّن منها النسيج الموصِّل للماء الذي يُعرف باسم النسيج الوعائي الخشبي أو الزايلم. يشكِّل نسيج الزايلم ما نسميه بالخشب.[9] ويُمثِّل كلُّ حلقة من حلقات الشجرة عامًا من نمو الزايلم، ويمثل اتساعها معدل النمو السنوي النسبي له. ومن خلال مقارنة اتساع حلقات اللب الذي يمتد من الجزء الخارجي للشجرة إلى مركزها، نتوصَّل إلى بعض المعلومات عن الاختلافات في النمو من موسمٍ إلى موسم. ويمكن أيضًا دراسة خواصِّ الخشب، مثل المسامية، من خلال العينات اللبية.[10] وقد اكتشف الباحثون الذين فحصوا

العينات اللبية لأشجار تشرنوبل أنَّه كلما ارتفع معدل النشاط الإشعاعي الذي تعرضت له، زاد بطء معدل نموها. وقد بلغ هذا البطء أقصاه عقب الكارثة مباشرة، حين كان التعرُّض للإشعاع في أعلى مستوًى له. ظهر في الأشجار التي تعرَّضت للإشعاع أيضًا تأثيرات طويلة المدى على النمو وتركيب الخشب، استمرت حتى عشر سنوات بعد الحادث.[11]

إضافةً إلى ما أحدَثَه الإشعاع من ضررٍ مباشرٍ على الأشجار، فقد امتد تأثيره ليشمل أجزاءً أخرى من النظام البيئي تؤثِّر على رسوخ الأشجار ونموها وبقائها. فقد أدَّى، على سبيل المثال، إلى فقدان العديد من اللافقاريات والبكتيريا التي تعيش في التربة وتحلِّل نفايات الأوراق وغيرها من البقايا العضوية التي تتجمَّع على أرض الغابة. وتسبَّب هذا الخلل في العمليات الطبيعية لتجديد التربة والحفاظ على صحتها في حدوث تغيُّرات بالغة في النظام البيئي للتربة، وثبَّط نمو العديد من أنواع النباتات.[12]

ونظرًا لأنَّ النباتات مرنةٌ وتميل إلى التعافي من الكوارث أسرع مما تتعافى الحيوانات، فإنها ضروريةٌ لإعادة إحياء البيئات المتضرِّرة. فلماذا تتمتَّع النباتات بهذه القدرة التفضيلية على التعافي من الكوارث؟ يعود السبب في ذلك إلى حدٍّ كبير إلى قدرتها على توليد أعضاء وأنسجة جديدة على مدار دورة حياتها بأكملها، على عكس الحيوانات. ويعود الفضل في هذه القدرة إلى نشاط الأنسجة المولِّدة (المرستيمية)، وهي مناطق من الأنسجة غير المتمايزة توجد في الجذور والفسائل وتستطيع التمايز إلى أنسجة وأعضاء جديدة، استجابة لإشارات محددة. إذا لم تتلف الأنسجة المولِّدة خلال الكوارث، يمكن للنباتات التعافي وتحويل البيئة المدمَّرة أو القاحلة في نهاية المطاف. يمكنك رؤية هذه الظاهرة على نطاقٍ أصغر عند رؤية شجرةٍ صعقها البرق تُكوِّن غصونًا جديدةً تنمو من الندبة القديمة. وإضافةً إلى تجدُّد النباتات أو تبرعمها من جديد، يمكن للمناطق التي تعرَّضت للضرر أن تتعافى أيضًا من خلال إعادة البذر.

اكتشف العلماء الذين درسوا الغطاء النباتي الذي نما في أرجاء تشرنوبل استجابةً وقائية أخرى ساهمت في تقليل الآثار المدمِّرة الناتجة عن الإشعاع. يسبِّب الإشعاع تحوُّرات جينية ضارة في جميع الكائنات، لكنَّ النباتات التي تعرضت له على مدار سنوات عديدة، طوَّرت أساليبَ تكيفية ساعدت في استقرار جينوماتها.[13] ليس ذلك سوى مثال قوي آخر على مدى مرونة النباتات وقدراتها على البقاء في البيئة مع احتمالية تغييرها أيضًا. إنَّ هذه القدرة على الصمود في وجه التحديات البيئية، إلى جانب القدرة على تحويل البيئة من خلال التحمُّل، والنمو والازدهار المستمرَّين، من السمات المهمة التي سيستفيد البشر من تبنيها.

بعد أي بركان أو حريق أو غير ذلك من الكوارث، وبينما تعود النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة إلى بيئةٍ ما، يتغيَّر تكوين النظام البيئي وبنيته بطرق غالبًا ما يمكن التنبؤ بها. فعلى سبيل المثال، يمكن للحشائش أن تمهِّد الطريق للشجيرات، ثم للأشجار. ويستخدم علماء البيئة مصطلح «التعاقب» للإشارة إلى هذه التغيرات الطويلة المدى، وهم يقسِّمونه إلى نوعين مختلفين؛ التعاقب الأساسي والتعاقب الثانوي. يحدث التعاقب الأساسي على أرضٍ أو تكويناتٍ صخريةٍ جديدة؛ حيث لا توجد أيُّ تربة، كتدفقات الحمم المتصلبة أو على الجزر التي انبثقَت حديثًا من البحر. أما التعاقب الثانوي فيشير إلى تأسيس مجتمعٍ أو نظامٍ بيئيٍّ بعد حدوث اضطرابٍ أقل حدة، مثل حريق أو فيضان لم يُزل جميع النباتات والتربة.[14]

ومثلما قد نتوقَّع، يوجد الكثير من العوامل التي تؤثِّر في أي الأنواع ينبثق أولًا بعد حدوث الاضطراب، وكيفية تغيُّر تكوين الأنواع بمرور الوقت. من هذه العوامل توافر المغذيات والضوء، ويشمل ذلك كمَّ الضوء وخواصَّه الطيفية. ومن خلال إجراء تجارب تتضمَّن إضافة أنواعٍ مختلفةٍ من النباتات وإزالتها، وجد علماء الأحياء أنَّ أنماط التعاقبِ تتأثَّر بشدةٍ بالأنواع التي توجد في منطقةٍ ما، والتفاعلات التي تحدث بينها.[15] من العوامل الأخرى التي تؤثِّر في التعاقب، التغيُّر المناخي ووجود الأنواع الاجتياحية؛ أي تلك التي لا تكون جزءًا أصيلًا من نظامٍ بيئيٍّ محدَّد، والتي تسبِّب شكلًا من أشكال الضرر البيئي أو الاقتصادي.[16]

مع حدوث التعاقب، تتغيَّر بنية المجتمع، وتتغير جوانب أخرى من النظام البيئي أيضًا، مثل خصائص التربة.[17] وتؤثِّر قدرات أنواع النباتات المنفردة على التكيُّف على البيئة المحلية عبر عمليات الاستعمار والاستقرار والنمو والبقاء على النمط الكلي للتعاقب تأثيرًا كبيرًا.[18]

يوجد عددٌ من السمات الأساسية التي تُحدِّد أيًّا من أنواع النباتات سيزدهر عقب الاضطرابات المتكررة مثل الحرائق. تشمل هذه السمات طريقة البقاء في أثناء الاضطراب وآليات الاستقرار والوقت المستغرق للوصول إلى مراحل الحياة الحرجة (التكاثر والشيخوخة). يتعلَّق البقاء بما إذا كان النوع يتمتَّع بسماتٍ تُمكِّنه من العودة بعد الاضطراب؛ فربما تكون لديه بذورٌ تظل صالحة في التربة، أو ربما يتمكَّن من التبرعم من الجذور الناجية. أما طرق الاستقرار فتتعلَّق بالكيفية التي يتمكَّن بها النبات من النمو والازدهار بعد الاضطراب. قد يتمكَّن بعض النباتات من الاستقرار بسرعةٍ بينما يستقر بعضه متأخرًا، على حسب عوامل مثل القدرة على التنافس للحصول على الموارد.

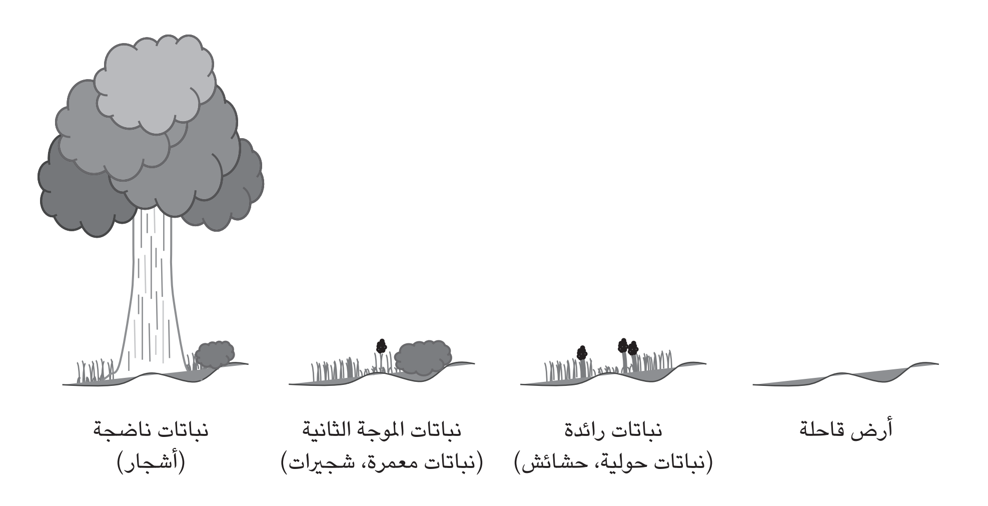
ويُعد الوقت الذي تستغرقه النباتات في الوصول إلى مراحل حرجة في الحياة مهمًّا للغاية أيضًا؛ فالوقت اللازم للنضج والتكاثر، على سبيل المثال، يؤثِّر في مدى سرعة نوع من الأنواع في إرساء الهيمنة.[19]

تختلف أنماط التعاقب بعضها عن بعضٍ اختلافًا كبيرًا، لكنَّ العلماء أشاروا إلى أنها جميعًا تتخذ ثلاثة مسارات محددة، وهي التيسير والتحمُّل والتثبيط. تصف هذه المسارات ما إذا كانَت الأنواع التي تستقرُّ مبكرًا في التعاقب، تُيسِّر استقرار الأنواع المتأخرة، أم تتحمَّله، أم تُثبِّطه. يشيع مسار التيسير بصورةٍ أكبر في التعاقب الأساسي، بينما يحدث مسار التحمُّل غالبًا في التعاقب الثانوي؛ حيث يُحتمل أن تكون التربة والمغذيات متوافرةً بسهولة. أما التثبيط فيحدث حين تقوم الأنواع المستقرة بتثبيط اجتياح الأنواع المنافسة. تستمر هذه الحالة التثبيطية حتى تشيخ الأنواع المستقرة أو تعاني ضررًا بالغًا، مما ينتج عنه في كلتا الحالتَين إتاحةُ موارد للأنواع الأخرى لاستعمار موطنٍ بيئيٍّ.[20]

بالرغم من أنَّ التنافس بين النباتات يؤدي دورًا مهمًّا في التعاقُب بالتأكيد، فللتفاعلات مع الكائنات الأخرى أدوارها المؤثِّرة أيضًا، ومنها رعي الحيوانات أو غير ذلك من صور الاقتيات على العشب، إضافةً إلى وجود مسبِّبات الأمراض.[21] يمكن لآكلات العشب أن تحدَّ من نمو النبات وإنتاج البذور؛ ومن ثمَّ تحدُّ من إمكانية انتشار النبات واستمراره.[22] ويمكنها أيضًا أن تؤثِّر في ديناميكيات النيتروجين والخواص الكيميائية للتربة، وتأثيرات التغذية الراجعة ذات الصلة على دورة حياة النباتات واستمرارها وعلى مجتمعات النباتات. فقد تؤدي آكلات العشب إلى تقليل تدوير المغذيات مثل النيتروجين في نظامٍ بيئيٍّ ما، وذلك من خلال تقليل الكتلة الحيوية للنباتات ذات الأنسجة الغنية بالنيتروجين، والتي تفضِّل آكلات العشب الاقتيات عليها.[23] وبهذا، من الممكن أن تتسبَّب آكلات العشب في تراجع معدلات التعافي أو تغيير ديناميكيات الأنواع خلال التعاقب.

في التعاقب الأساسي، تُسمَّى أولى النباتات التي تَظهر في بيئةٍ قاحلةٍ بالنباتات الرائدة. تتمكَّن هذه الأنواع من النمو بالرغم من التحديات البيئية الكبيرة. والنباتات الرائدة هي تلك النباتات التي قد تراها منبثقةً من شقٍّ في رصيف المشاة أو ممر للسيارات. يُمكن لهذه النباتات أيضًا أن تنبثقَ من الحمم البركانية المتصلِّبة. فهذه النباتات تتمتع بالقدرة على تتبُّع بقايا الرطوبة في أصغر الشقوق، مما يُتيح لها النمو على حافة جرفٍ أو أسفلت متداعٍ؛ حيث لا يوجد سوى بقايا نادرةٍ من الرطوبة. وبصفتها إحدى الاستراتيجيات في

تاريخ الحياة، فإنَّ الفرصة المحدودة — التي قد لا تحدث سوى مرةٍ واحدةٍ في العمر— للحصول على الرطوبة أو ضوء الشمس الضروريِّ للغاية، يمكن أن تتغلَّب على المخاطر الأخرى التي ينطوي عليها النمو في مثل تلك الأماكن.



يبدأ التعاقب الأساسي ببيئةٍ قاحلةٍ مرَّت باضطرابٍ قاسٍ مثل حريق أو فيضان أو ثوران بركاني. تظهر النباتات الرائدة أولًا؛ إذ إنها لا تحتاج إلا لقدرٍ محدود من الموارد، وتستطيع أن تنمو في تربة فقيرة. تحسِّن النباتات الرائدة من خواص التربة، ممَّا يسمح بالتأسيس لموجة ثانية من الأنواع التي تتطلب مستوًى أعلى من الموارد. ومع التحسينات المستمرة والتغييرات التي تحدث في النظام البيئي، تظهر الأشجار في نهاية المطاف، إلى جانب بعض النباتات الأخرى التي تستلزم تربة خصبة ويمكنها أن تنمو في الظل.

عادةً ما تكون متطلبات النباتات الرائدة من الموارد ضئيلة للغاية، كما أنها تجيد الاقتيات على النفايات. فيمكن لهذه الأنواع أن تنمو في أنواع مختلفة من التربة، وتستطيع أن تتعامل مع الانخفاض الشديد في مستوى المغذيات المتاحة. والواقع أنَّ العديد من النباتات الرائدة يستطيع زيادة مستوى المغذيات المتاحة، إما عن طريق إفراز المركَّبات التي تزيد من قابلية ذوبان مغذيات معينة مثل الحديد أو من خلال الانخراط في علاقات مع كائنات أخرى، مثل البكتيريا المثبتة للنيتروجين أو الفطريات التي تكوِّن الفطريات الجذرية.[24] ينتج عن النباتات الرائدة العديد من الآثار التي تحسِّن الظروف للنباتات

التي ستظهر لاحقًا؛ فهي تغيِّر مستوى حموضة التربة بما يجعلها أكثر ملائمة لنباتات أخرى، كما أنَّ وجودها يزيد من استقرار التربة ويقلل من تأثير الرياح الضارة.[25]

عندما تنمو النباتات الرائدة، فإنها تغيِّر البيئة بطرق تتيح توافر المزيد من الموارد، بما في ذلك إتاحة الوصول إلى تربة قد تكون كامنة تحت الأرصفة أو الطرق أو الحمم البركانية، أو تفكيك التربة الشديدة التكتُّل. يشكِّل كل فرد مناخًا مصغرًا جديدًا، وهو مناخ محلي قد يختلف عن مناخ النظام البيئي الأكبر. ويمكن لهذه المناخات المصغرة أن تدعم نمو النبات، إضافةً إلى مساهمتها في نجاح الأنواع المتأخرة الظهور، التي تحتاج إلى متطلبات أكثر من تلك التي تحتاج إليها النباتات القوية الاحتمال التي تظهر أولًا.[26] تستطيع بعض النباتات الرائدة تكسير الصخور أو الحمم البركانية من خلال القوة الميكانيكية الناتجة عن نمو جذورها وتوسُّعها، أو بأن تفرز جذورها أحماضًا أو غير ذلك من المواد الكيميائية المسبِّبة للتآكل.[27]

عادةً ما تكون هذه النباتات مبكرة الظهور متكيفة على النمو في التربة الجافة مع التعرض للضوء الساطع.[28] وبعد موتها وتحلُّلها، تساهم في تكوين التربة وإثرائها.[29] ومن خلال هذه الطريقة وغيرها، عادةً ما تزداد المعادن والمغذيات في التربة بمرور الوقت، لكنَّ هذا التحوُّل يحدث ببطء خلال التعاقب الأساسي. فقد تستمر محدودية الموارد المتوفرة في تقييد نمو المجتمع النباتي وتطوره.[30] وتتأثر وتيرة التعاقب أيضًا بخواص الأنواع التي تتبع النباتات الرائدة.

تحتاج النباتاتُ التي تظهر في الموجة الثانية من التعاقُب الأساسي إلى مستوًى أكبرَ بعض الشيء من المغذيات. ومع ذلك، يمكن لهذه النباتات أن تستمرَّ في النمو بصفةٍ عامةٍ في تربٍ لا تعتبر غنيةً بالمغذيات بوجهٍ خاص. وشأنها شأن النباتات الرائدة، غالبًا ما تكون هذه النباتاتُ بارعةً في الحصول على المغذيات النادرة، أو تتعاون مع كائناتٍ أخرى تدعم تحويل الموارد إلى صورٍ أسهلَ في الحصول عليها. ومع التحوُّل الذي تُحدثه هذه الأنشطة التي تقوم بها نباتات الموجة الثانية في البيئة بحيث تحتوي على موارد أكثر وفرة، ورقع من التربة يسهل الوصول إليها، تستطيع موجاتٌ أخرى من النباتات البدء في الازدهار، وهي تلك النباتات التي تتطلَّب وفرةً أكبر من المغذيات وتربة خصبة، أو تلك التي تستطيع النمو في بيئاتٍ ظليلةٍ أو بها قدرٌ محدودٌ من الضوء. إنَّ ما يترتَّب على ذلك من استقرار أنواع النباتات المختلفة ونجاحها، يؤدِّي في نهاية المطاف إلى نظامٍ بيئيٍّ أكثر تنوعًا، وإن كان التنوُّع قد يبلغ أَوْجَه في فترةٍ سابقةٍ من التعاقب؛ إذ تُصبح الأنواع

المهيمنة مستقرة، وتستطيع أن تثبط دخول أنواعٍ إضافيةٍ إلى العملية بعد ذلك.[31] من بينِ خواصِّ النباتات التي تؤثِّر في ترتيبِ التعاقُب في البيئات التي تعرَّضت للاضطراب، تلك الخواص المتعلقة باستقرار الشتلات، ذلك أنَّ قدرة الشتلة على الإنبات وغَرْس جذورها بنجاح يمكن أن تتنوع بناءً على التاريخ التطوري والظروف البيئية المحلية.[32]

يُعدُّ الفيضان نوعًا من الاضطرابات يختلف عن الثوران البركاني. فبالرغم من أنَّ الفيضان قد يتسبَّب في حدوث اختلالٍ واسع النطاق للنظام البيئي، فإنه لا يدمِّره تمامًا. إنَّ فيضانًا ضخمًا، كذلك الذي يحدث خلال إعصارٍ ما، غالبًا ما يقتل العديد من النباتات الصغيرة مباشرة، ويرسِّب التربة أو الطمي مما يؤدي إلى دفن نباتات أخرى. عادةً ما تنجو النباتات الأكبر والأشجار، لكنها قد تعاني ضررًا ماديًّا خطيرًا. فبعد اختلال نظام بيئيٍّ ما بسبب فيضان أو رياح أو حريق أو غير ذلك من الاضطرابات التي تؤدي إلى حدوث ضرر بالغ، يحدث التعاقب الثانوي. ومن ثمَّ تستعمر المنطقة التي لم تُجرَّد تمامًا من جميع النباتات وغيرها من الكائنات الحية، وتُسكَن من جديد.

غالبًا ما تتمتَّع النباتاتُ الرائدةُ في التعاقب الثانوي بصفاتٍ مختلفةٍ بعض الشيء عن تلك التي تزدهر في التعاقب الأساسي؛ بسبب توافر المزيد من المغذيات وسهولة الوصول إلى التربة بدرجةٍ أكبر. ومن ثمَّ؛ فعادةً ما يكون التنافس خلال التعاقب الثانوي أقلَّ منه في التعاقب الأساسي.[33] فمن مبادئ علم البيئة أنَّه لا يمكن لنوعَين أن يشغلا الموقعَ البيئيَّ نفسَه (أي لا يمكن لنوعَين أن يقوما بالدور البيئي نفسه) في الموقع نفسه؛ إذ إنَّ أحدهما سيتغلَّب في المنافسة على الآخر. تحدث العملية التي يحلُّ فيها أحد الأنواع محلَّ نوعٍ آخر في أثناء التعاقُب بمعدلاتٍ مختلفة، وتؤثِّر في التنوُّع النهائيُّ للأنواع في مجتمعٍ ما.

يمكن قياس تنوُّع الأنواع بعدة طرقٍ مختلفة. كثيرًا ما يُشير علماء البيئة إلى تنوُّع ألفا، الذي يُعرَّف بأنه عدد الأنواع الموجودة في منطقةٍ محلية، وإلى تنوُّع بيتا الذي يشير إلى التباين في تكوين الأنواع بين مناطق متعددةٍ بإقليمٍ ما.[34] يتأثَّر التنوُّع في منطقةٍ محليةٍ بالعديد من العوامل، من بينها مدى قدرة انتقال الأنواع المختلفة بين المناطق بسهولةٍ.[35] عادةً ما يزيد تنوُّع ألفا خلال فترة التعاقب، غير أنَّ الاستقرار البيئي قد يتحقَّق بمرور الوقت في بعض الأنظمة البيئية، ويمكن للتنوُّع أن يقل حينذاك.[36]

لقد تحدثنا حتى الآن عن عملياتٍ تحدث في البيئات الطبيعية. أما في المناطق الحضرية والأراضي الأخرى التي غيَّرها الإنسان، فيتَّبع التنوُّع نمطًا مختلفًا. فالتدخل البشري عاملٌ

مهمٌّ في تغيير التنوُّع المحلي والتأثير في ديموغرافية النباتات. فنجد، على سبيل المثال، أنَّ الأراضيَ الفارغةَ التي لا تشهد سوى قدرٍ ضئيلٍ من التدخُّل البشري، تحتوي على عددٍ كبيرٍ من أنواع النباتات المختلفة، لكنَّ النباتات نفسها عمومًا توجد في كل قطعة أرض (أي أنَّ هذا يُمثِّل مستوًى كبيرًا من تنوُّع ألفا، ومستوًى منخفضًا من تنوُّع بيتا)؛ في المقابل، تحتوي الحدائق الموجودة في المناطق السكنية على عددٍ أقلَّ من الأنواع في كل حديقة، لكن هذه الأنواع تختلف من حديقةٍ إلى أخرى (مما يُمثِّل مستوًى منخفضًا من تنوُّع ألفا ومستوًى مرتفعًا من تنوُّع بيتا.)[37]

تؤدي الجذور دورًا مهمًّا في التعاقب بسبب تأثيرها في استقرار النباتات وعلى خواصها التحويلية. فتحت الأرض، أسفل أقدامنا تمامًا، تتمتَّع الجذور بقدر من التحكم في خواص التربة؛ ومن ثمَّ تتحكم في خواص الأنظمة البيئية بأكملها. وتتحدَّد صحة النبات إلى حد كبير وفقًا لنشاط جذوره وأدائها لوظائفها. يمكننا الحكم على صحة النبات من خلال قدرته على تكوين الأزهار والثمار، لكنَّ الجذور هي التي توفِّر المغذيات اللازمة للتكاثر. فالنباتات تحصل على المغذيات من التربة، وحين تصبح المغذيات نادرة، كما رأينا في الفصل الثالث، تحصل النباتات عليها من خلال تغيير هيئة الجذور، ومن ذلك شكلها وطولها وتفرُّعها، أو من خلال إفراز مركَّبات تزيد من قابلية المغذيات للذوبان. ويمكن لهذه الإجراءات أن تغيِّر جودة التربة وتعزِّز التفاعلات التعاونية مع البكتيريا والفطريات.

تُعد الأجزاء المتعلقة بالجذور من بين الأجزاء الأكثر ديناميكية في الأنظمة البيئية الأرضية، ومن ذلك طبقة التربة التي تلتصق بشعيرات الجذور؛ أي الغمد الجذري، والتربة التي تحيط بالجذور؛ أي النطاق الجذري.[38] والأنشطة المرتبطة بهذه العناصر من التربة هي التي تسيِّر العديد من جوانب استقرار النبات واستمراره وقدرته التحويلية. فالتركيب المادي للجذور وكذا المركَّبات التي تنتجها، تؤثِّر في إنتاج الغمد الجذري، وخواص النطاق الجذري ووظائفه. وسواء أكانت التربة متراصةً أم مفكَّكة، فقيرة بالمغذيات أم غنية بها، فإنَّ ذلك يؤثِّر مباشرة في استقرار البذور وطول عمر النبات.[39] تغيِّر استجابات الجذور هذه من خصائص التربة مباشرةً، ويمكنها بالتبعية أن تؤثِّر على التركيب الفسيولوجي لجميع الكائنات المستوطنة للتربة وطبيعتها البيئية. وهذا السلوك تحويليٌّ بالفعل.

يمكن لخصائص الجذور المتعلقة بالمرونة؛ أي قدرتها على التغيُّر استجابةً للظروف البيئية، أن تكون إما بيوكيميائية، مثلما هو الحال في إنتاج المواد التي تفرزها، وإما

فيزيائية، تتضمن إجراء تغيرات بنيوية. إنَّ جذور النباتات تطلق المذيبات والكربون ويمكن أن تظهر اختلافات بنيوية استجابة لإشارات من البيئة، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات في النظام البيئي للتربة. فيمكن لبنية الجذور، على سبيل المثال، أن تؤثِّر في ديناميكيات الماء في التربة.[40] فالتغيرات في بنية الجذور وكتلتها الحيوية تُحدِث تعديلًا في مسامية التربة؛ وذلك بتغيير تراصِّها على الأرجح، والذي يمكن بدوره أن يغيِّر من كيفية امتصاص الماء وتدفُّقه خلال التربة؛ مما يؤثِّر في نهاية المطاف على استجابات النبات مثل امتصاص الماء. يمكن التحكُّم في بعض هذه الاستجابات زمنيًّا، ومنها إفرازات الجذور، مما يُمكِّن النبات من التكيُّف بطرقٍ سريعةٍ وقابلةٍ للارتداد في الوقت ذاته.[41] أما الاستجابات الأخرى، مثل التغيرات في بنية الجذور، فهي طويلة المدى وتنتج عنها تغيرات ثابتة في التربة وفي النظام البيئي بأكمله.

إنَّ قدرًا كبيرًا من ديناميكية النظام البيئي فيما يتعلَّق بوظائف الجذور، يرجع إلى إنتاج المواد التي تفرزها جذور النبات وتطلقها، إضافةً إلى الجراثيم المرتبطة بها.[42] فيمكن لإفرازات الجذور أن تُغيِّر من قابلية المعادن والمغذيات في التربة للذوبان — أي الخواص الكيميائية للتربة — ويمكن حتى أن تزيل سُمية المواد الضارة مثل الألومنيوم.[43] من المواد التي تفرزها الجذور ولها تأثير بارز على النطاق الجذري، الصمغُ النباتيُّ، وهو محلولٌ ذو طبيعةٍ هلاميةٍ يحتوي على السكريات والجليكول والشحوم الفوسفورية.[44] من المحتمل أن يُساهِم الصمغ النباتي في تحمُّل بعض النباتات للجفاف. ذلك أنه يستطيع أن يزيد من قدرة الجذور على نقل الماء إلى النسيج الوعائي الخشبي، أو تغييرها بدرجةٍ كبيرة، ويُساهم أيضًا في تحسين قدرة النطاق الجذري على الاحتفاظ بالماء، إضافةً إلى تحسين امتصاص الماء مقارنةً بالتربة المحيطة التي تفتقر إلى الصمغ النباتي.[45]

تقوم النباتات أيضًا بتصنيع المركَّبات الدهنية وإفرازها، والتي يمكن أن تكون بمثابة عوامل للتنشيط السطحي (عوامل ترطيب أو تشتيت). تزيد هذه المركَّبات من قابلية الموارد للامتصاص بواسطة الجذور واستخدامها من قِبل النبات. فقد وجد أن عوامل التنشيط السطحي تزيد من قابلية المركَّبات النيتروجينية والفوسفورية للذوبان.[46] كذلك يؤثِّر التغير في خواص التربة، بما في ذلك زيادة توفُّر الموارد، في التركيب الفسيولوجي للجراثيم والعمليات التي تقوم بها، مما يُغيِّر كذلك من الخواص البيو كيميائية والبيو فيزيائية للتربة، التي تدعم نمو النبات.

يُعد إنتاج الصمغ النباتي وعوامل التنشيط السطحي ووظائفها من الأمثلة القوية على الكيفية التي يمكن بها للمنتجات التي تفرزها النباتات أن تُغيِّر من المواطن البيئية

في التربة. غير أنَّ النباتات ليسَت هي الكائنات الوحيدة التي تؤثِّر في تركيب مجتمعات النباتات، لا سيما تحت الأرض. فالفطريات تُنتج مركَّباتٍ مشابهةً تُسمَّى بمركَّبات الستيرول (وهي قريبة من الكوليسترول)، الطاردة للماء والتي تمنع الخيوط الفطرية من الجفاف؛ فتزيد من معدل الاحتفاظ بالماء في النطاق الجذري.[47] تطلق هذه الكائنات أيضًا البروتينات السكرية الكارهة للماء، التي تغطي تجمعات التربة؛ مما يُحسِّن من قدرة التربة على امتصاص الماء.[48] إنَّ مركَّبات الستيرول والبروتينات السكرية وغيرها من المنتجات الفطرية؛ تؤثِّر في الخواص البيو كيميائية الحيوية والبيو فيزيائية للتربة بالطريقة نفسها التي يؤثِّر بها الصمغ النباتي الذي تُنتجه الجذور.

لتكوين التربة والجراثيم التي تعيش فيها تأثيراتٌ بارزةٌ على التعاقُب البيئي والتحوُّل البيئي أيضًا.[49] إنَّ هذه الأجزاء من الأنظمة البيئية، والتي لا يُرى معظمها، والتفاعلات الكثيرة المتنوعة التي تحدث بينها، تتغيَّر بمرور الوقت، وتترك تأثيراتٍ متماثلةً طويلة المدى على تكوين أنواع النباتات في مجتمعٍ ما، وعلى تطوُّر النظام البيئي أيضًا.[50] كذلك يتغيَّر تكوين الفطريات في التربة مع استمرار التعاقب، كما تتغيَّر طبيعة الفطريات الجذرية ووظيفتها، مما يؤثِّر بدوره في تكوين مجتمع النباتات.[51]

إنَّ التفاعلات المعقدة التي تحدث بين الجذريات الفطرية وبين النباتات والتربة، وإن كانَت مخفيةً عن الأنظار، تسيِّر جوانب بالغة الأهمية من التعاقب وتغير الأنظمة البيئية.[52] لعلك تتذكَّر أنَّ الجذرياتِ الفطريةَ هي علاقات تكافلية بين الفطريات وجذور النباتات تزيد من امتصاص الماء والمغذيات. ويؤثِّر نوع الجذريات الفطرية ووجودها، إلى جانب خصوبة التربة، في تحديد أيِّ النباتات سينمو في منطقة بعينها؛ لأنَّ تأثيرات الجذريات الفطرية على نمو النباتات يتوقَّف على جودة التربة بالنسبة لأنواعٍ معينة. فبعض النباتات لا ينمو على نحوٍ أفضل عند تكوين علاقةٍ مع الفطريات إلا حين تكون التربة سيئة، أما حين تكون في تربة خصبة، فلا يبدو أنها تستفيد كثيرًا من ارتباطات الجذريات الفطرية.[53]

تؤثِّر أنواع الفطريات الجذرية أيضًا على القدرات التنافسية للنباتات، ربما يكون ذلك من خلال المساهمة في امتصاص المغذيات والمعادن واستخدامها. فقد أوضح العلماء أنَّ الظروف البيئية التي تحدُّ من قدرة النبات على الحفاظ على مستوياتٍ مرتفعةٍ من البناء الضوئي، مثل التربة السيئة أو الظل، يمكن أن تحدَّ أيضًا من قدرته على تكوين الجذريات الفطرية.[54] وستُعاني هذه النباتات عيبًا تنافسيًّا مقارنةً بتلك النباتات التي كوَّنت جذريات فطرية أكثر تطورًا، مما قد يؤثِّر في تكوين مجتمع النباتات وديناميكياته

بمرور الوقت. ويمكن لتكوين أنواع النباتات بدوره أن يؤثِّر في مجتمعات الجذريات الفطرية في التربة.[55] ومع حدوث تغيراتٍ في مجتمع الفطريات، قد يتغير نطاق النباتات الذي يمكن للتربة أن تدعمه أيضًا. إذن، فمن الممكن لهذه التغيرات أن تنتج أنواعًا من التربة يمكن ألَّا تدعم سوى نباتاتٍ محددةٍ تتسم فطرياتها الجذرية بشروطٍ معينةٍ تلائم الفطريات الموجودة في التربة.[56] بعبارةٍ أخرى، يمكن لتأثير النباتات على بنية مجتمع الجذريات الفطرية وديناميكياته، أن يؤثِّر في تعاقب النباتات؛ ومن ثمَّ في تكوين مجتمعات النباتات الحالية والمستقبلية.

ثمة مثالٌ آخر على السلوك التعاوني بين النباتات مع احتمالية تغيير البيئة، وهو ظاهرة تسمَّى السرب. يُعَد السرب من السلوكيات الاجتماعية التي تقوم على تفاعلٍ مشتركٍ بين أفرادٍ مختلفين، ويمكن أن يعمل بمثابة استراتيجية عارضة تتيح تشكيل أنماطٍ معقدة من خلال تفاعلات صغيرة.[57] تحدث هذه الظاهرة حين يتحرك عددٌ من الأفراد معًا في الاتجاه العام نفسه، سواء أكان ذلك بطريقة إيجابية أم سلبية؛ فالأسراب الإيجابية تُولَد ذاتيًّا، ولا تتشكَّل بفعل قوًى خارجية.[58] كلنا يعرف بعض الأمثلة اليومية لسلوك السرب، مثل أسراب الطيور وأسراب الأسماك، وأسراب الحشرات بالطبع. يشيع سلوك السرب في البكتيريا أيضًا. فقد اتضح أنَّ أسرابًا من البكتيريا تتحرَّك باتجاه تجمُّعاتٍ ثريةٍ بالمغذيات والمنافسة المحدودة على الموارد.[59] تصف آدريَن ماري براون هذا السلوك على نحوٍ بليغٍ بقولها: «ثمة فنٌّ في تكوين الأسراب يتمثَّل في بقاء كل فردٍ منفصلًا عن غيره بما يكفي لعدم التزاحُم، مع بقاء الجميع مصطفِّين بما يكفي للحفاظ على اتجاهٍ مشترك، مع الحفاظ على الالتصاق بالدرجة الكافية لكي يتحرَّك الجميع باتجاه بعضهم بعضًا. (الاستجابة للقدر معًا.)»[60] لا شك أنَّ هذا يطرح أمام البشر دروسًا واضحةً في أهمية إيجاد أفرادٍ يمكن للمرء أن يسعى معهم نحو تحقيق أهدافِه الشخصية، بالتعاون مع هؤلاء الذين يتحرَّكون في اتجاهٍ مشتركٍ ويسعَوْن نحو غايةٍ تتلاءم مع غايته.

لم يتوقَّع أحدٌ أن يوجد سلوك تكوين الأسراب في النباتات؛ إذ إنها لا تستطيع التحرك. غير أنَّ بعض أجزاء النباتات تتحرك بالفعل، وفي عام ٢٠١٢، أعلنت مجموعة من العلماء أنهم اكتشفوا أنَّ جذور النباتات النامية تنخرط في سلوك تكوين الأسراب النشط. وجد هؤلاء العلماء أنَّ جذور شتلات الذرة المتجاورة كانت جميعًا تنزع إلى النمو في الاتجاه نفسه، بالرغم من وجودها في وسط متجانس.[61] ربما يكون الغرض من مثل هذا السلوك

هو «تحقيق الاستفادة القصوى من التفاعل مع بيئتها».[62] فمن المميزات المحتملة لتكوين الجذور للأسراب أنَّ مجموعةً من الجذور المتعاونة يمكن أن تطلق مركَّبات مثل حاملات الحديد لتحسين قابلية المغذيات للذوبان في التربة موضعيًّا.[63] وتؤدي سلوكيات تكوين أسراب مثل هذه إلى التنظيم المكاني للطبيعة الكيميائية للتربة وتعزيز نمو النبات وقدرته على التحمُّل. وكما هي الحال في أسراب الطيور، يُعد تكوين الجذور للأسراب استراتيجية عارضة لمصير مشترك، لكنها تُساهم في تغيير البيئة حين تعمل الجذور معًا لإذابة المغذيات أو الانخراط في علاقات تكافلية مع كائناتٍ أخرى مثل البكتيريا أو الفطريات.[64]

«أزهِر حيث تُزرع.» غالبًا ما تُستخدم هذه العبارة لتشجيع الأشخاص على أن يحيوا ويزدهروا في أي مكان يجدون فيه أنفسهم. وتكمن فكرة هذه العبارة في أنه ينبغي علينا أن نحاكي سلوك النباتات، التي يفترض الكثيرون أنها تستغل المكان الذي يزرعها فيه البستاني على النحو الأمثل. غير أنَّ هذا التشبيه مضلل في واقع الأمر. فمثلما رأينا في هذا الفصل، لا تؤدي النباتات وظائفها في نطاق بيئتها فحسب، بل تشارك فيها على نحوٍ فعَّال وتغيرها. فالنباتات تصدر استجابات مرنة متعلقة بالنمط الظاهري لتحسين نموها، وتتسم بنوعٍ من الوعي يمتد خارج حدود ذواتها، ويعكس معرفةً بالبيئة الخارجية، وهو ما يُسمى في بعض الأحيان «الإدراك الممتد».[65] يمكن لهذا الإدراك أن يؤديَ إلى سلوكيات وتكيفات من شأنها أن تغيِّر البيئة، مما يحسِّن الظروف للفرد نفسه، وغيره من الكائنات التي تسكن البيئة أيضًا. في عملية التعاقب، تؤثِّر النباتات المبكرة الظهور في النظام البيئي بطرق تحدِّد الأنواع التي ستتمكَّن من النمو والازدهار في المرحلة التالية.

إنَّ تعزيز التغيير في البيئات البشرية يتطلَّب مهاراتٍ مشابهةً لتلك التي تظهرها النباتات خلال التعاقُب البيئي. ففي المؤسسات أو الأنظمة البيئية البشرية، يكون أوائل قادة التغيير الثقافي بمثابة الرُّواد. والواقع أنَّ تحديدَ ودعْمَ الأفراد الذين يمتلكون السمات اللازمة لتعزيز التغير نحو تشكيل نظام بيئي جديد وتطويره على نحوٍ تعاونيٍّ ومتتابع، أمرٌ ضروري. فالقادة الذين يتميَّزون بأنهم مستكشفون فاعلون، كالنباتات الرائدة، قادرون على الازدهار مع توجيه التغيير في ظل وجود موارد محدودة أو متنوعة. يستطيع هؤلاء القادة أيضًا إدراك أنه حتى حين تبدو البيئة مستقرة، فإنَّ جهود الرواد يمكن أن تشكِّل اتجاهاتٍ وابتكاراتٍ جديدة.

في أنماط التعاقب البشري، غالبًا ما تركِّز المنظمات على ديناميكيات المجموعة بدلًا من إدراك ما يمكن أن يكون للأفراد من تأثيرٍ في تنفيذ التغيُّر الثقافي المنشود وتقبُّله، لا سيما

حين يكون هؤلاء الأفراد من عوامل التغيير الفاعلة. إنَّ تحقيق التغيُّر يستلزم قادةً وروادًا قادرين على التغلُّب على العقبات، مثلما قد تحتاج النباتات الرائدة في التعاقب الأساسي إلى الانبثاق من بين الحواجز أو غَرْس جذورها في أماكن صعبة. في كثيرٍ من الأحيان، يمكن لهؤلاء الروَّاد إحداثُ التغيير لدعم الأفكار والنمو والابتكار، وذلك بأقل الموارد أو أصغر الشبكات. ومن ثم تؤدي جهود هؤلاء الأفراد إلى مزيدٍ من التغيرات في النظام البيئي تدعم الموجة التالية من الأفراد، والتي تلزم لدفع التغير الثقافي والتحوُّل المؤسسي وتعزيزهما.

غالبًا ما تستلزم الأهداف التحويلية للرواد فترة أولية من الاختلال. فكما أنَّ بعض الحرائق لازمة لإدارة أنظمة بيئية محددة، قد تكون الاضطرابات المتعمدة لازمة في الأنظمة البيئية البشرية لتعطيل أنماطٍ مترسخةٍ أو الوضع الراهن، سواء في التفكير أو السلوك، وللتحرُّك الهادف نحو النتائج المقصودة من التغيير[66] وبالرغم من أنَّ الاضطراب المتعمد غالبًا ما يكون ضروريًّا، فلا ينبغي أن نغفلَ حقيقة أنَّ فرص الاضطراب النافع يمكن أن تنشأ عن نوايا سيئة. ففي عام ٢٠١٦ على سبيل المثال، أدَّى انتخاب رئيس أمريكي كان يراه الكثير من الأمريكيين معاديًا للمرأة ومعاديًا للعلم، إلى حركة احتجاجٍ قومية، ومنها «مسيرة المرأة» و«مسيرة العلم» في عام ٢٠١٧.

يمكن للاضطرابات التي تحدث في البيئة أن تؤدي إلى تغيير تكوين الأفراد القادرين على البقاء والازدهار والصمود فيها. غير أننا ننزع إلى تجاهل الحاجة إلى تقديم الاضطراب أو الخلل المتعمد، تمامًا مثلما نفعل في حالة الأنظمة البيئية المتكيفة على الحرائق؛ فقد يلزم حدوث تغيراتٍ كبيرةٍ في تكوين الأفراد للتحرك نحو مستهدفات التغيير. غالبًا ما يدعي الأشخاصُ الرغبةَ في حدوث تغييراتٍ كبيرةٍ في بنى النظام البيئي سعيًا للإنصاف، لكنهم يتجاهلون الحاجة إلى حدوث «اضطراب» حقيقي للخروج من الوضع الراهن لتركيب المجتمع. فقد تحتاج مؤسسةٌ ما إلى إعادة تقييمِ ما تستخدمه من استراتيجيات التعيين وعمليات الفرز لتعزيز تحديد نطاقٍ أوسع من الأفراد وتعيينه. لا بد أن نفهم أنَّ التدخُّل والإخلال القصدي، قد يكونان ضروريَّيْن لدعم البيئات المقبلة على التعاقب اللازم لدعم التغيير الثقافي.

يمكننا تحقيق تغييرٍ منهجيٍّ من خلال طرقٍ عدةٍ على نحوٍ مشابهٍ للغاية لما تفعله النباتات. فالطرق الاستراتيجية لتدشين التغيير تبدأ بتأمُّل الموقف الحالي والوعي به؛ أي تحديد سمات البيئة المحيطة، وتحديد الموارد المتاحة، وتقييم احتياجاتنا. وعلى المستوى المجتمعي، يمكن لمجموعةٍ من الأفراد، أو الروَّاد، أن يكونوا بمثابة «مجسات» للجميع.

تتمثَّل وظيفة مثل هؤلاء الأفراد في تقييم المناخ أو التغيرات السريعة في البيئة، والتي تستلزم استجابات أو ابتكارات. فالتدخلات القصدية في الأنظمة البيئية البشرية تهدف إلى دعم نظامٍ للتطور الطويل المدى للأنظمة البيئية يمكن أن يؤديَ إلى النتائج المرغوبة. علينا جميعًا أن نعرف أهمية الرواد، هؤلاء الذين يتمتعون بالسمات اللازمة لتدشين تغييرٍ ثقافيٍّ قوي في الزمان والمكان المناسبين، وعلينا أيضًا أن نؤيد الحاجة إلى وجود قادة لكي يعملوا بهذه الطريقة الريادية.



«لقد نشأ توازن الطبيعة عن التنوُّع، الذي يمكن اعتباره بالتبعية مخططًا أوليًّا للحقيقة السياسية والأخلاقية.»

بقلم أندريا وولف
في كتاب «اختراع الطبيعة»
(إعادة صياغة لكلمات ألكسندر فون همبولت)

الفصل الخامس

مجتمع متنوِّع

كثيرًا ما أزور حقلًا ممتلئًا بالزهور البرية في الصيف. بعضها صغير للغاية حتى إنه لا يكاد يُرى، بينما يصل طول بعضها إلى قَدم، ويصل بعضها إلى ضعف ذلك الطول، وهو يحفل بأزهار من جميع الألوان. يأسرني تنوُّع الأشكال والألوان التي يتألف منها المجتمع. فبينما أحدِّق في هذا المنظر، أفكر كيف أنَّ جميع هذه الأنواع المختلفة قادرة على التعايش المشترك. وبالرغم من الدهشة التي تملؤني من التنوُّع الموجود في هذا المكان، فإنَّ الكثيرين من الناس يمرون به سيرًا على الأقدام أو بالدراجات أو السيارات، من دون أن يلاحظوا هذا النظام البيئي المزدهر؛ فهم يفتقرون إلى الوعي بالنباتات. إنني أتعجب كيف لهم أن يمروا بهذا المكان من دون أن يتوقفوا ولو لحظة واحدة كي يتأملوا النباتات الكثيرة المتنوعة الموجودة في الحقل، والتفاعلات المعقَّدة التي تجري فيما بينها فوق الأرض وتحتها.

وجد العلماء الذين يدرسون التنوُّع الحيوي في مجتمعات النباتات أنَّ السبب في قدرة الكثير من الأنواع على التعايش معًا يُعزى جزئيًّا إلى ظاهرة تُدعى تكامل الموقع البيئي. فكل نوع من الأنواع يشغل موقعًا بيئيًّا مختلفًا بعض الشيء؛ أي يشغل موقعًا في المجتمع يتحدَّد بناءً على تاريخ حياته واستخدامه للموارد وتفاعلاته مع الأنواع الأخرى. ونظرًا لأنَّ كل نوع من الأنواع، بل حتى كل متغير جيني داخل النوع الواحد، له احتياجات مختلفة، فإنَّ ذلك يؤدي إلى أقصى استخدام للموارد في مجتمعٍ ما أو نظام بيئي محدَّد.[1] لا تقتصر فائدة التنوُّع على أفراد النباتات فحسب؛ بل إنَّ القدرات والسلوكيات المميزة التي تتسم بها الأنواع المختلفة تقدِّم فائدة جمعية أيضًا. فعادةً ما تكون الأنظمة البيئية التي تتسم بقدر أكبر من التنوُّع الحيوي أكثر إنتاجية؛ أي إنها تنتج كتلة حيوية أكبر؛ أي المزيد من الأوراق والسيقان والثمار وغير ذلك من أجزاء النباتات.

في الوقت الحالي، تتسم الزراعة التجارية بوجود مساحات شاسعة تُزرع بنوع واحد من النباتات، ومنها الذرة وفول الصويا والقمح. وبالرغم من أنَّ هذه الطريقة تجعل الزراعة والحصاد أسهل، فإنها ليست الطريقة الوحيدة لزراعة المحاصيل. فطالما استخدم المزارعون في الثقافات الأصلية بجميع أنحاء العالم أسلوبًا يُعرَف باسم الزراعة البينية، والذي يتضمَّن زراعة محصولَين أو أكثر معًا. ومثلما هو الحال في الأنظمة البيئية الطبيعية، اتضح أنَّ الإنتاجية تزداد عند زراعة محاصيل معينةٍ معًا بأسلوب الزراعة التعددية، مقارنة بأسلوب الزراعة الأحادية.[2] تزيد الزراعة البينية من إنتاجية النباتات الفردية عن طريق عمليةٍ تُعرف باسم التيسير بين الأنواع. فكل نوع من الأنواع يساهم بشيء يعزِّز نمو الأنواع الأخرى أو تكاثرها أو صمودها.[3] فنظرًا لأنَّ أفراد كل نوع تستخدم استراتيجيات مختلفة للحصول على الموارد، فإنها تستطيع تقسيم الموارد بدلًا من التنافس عليها.

ولعل من أفضل الأمثلة على الزراعة البينية مثالًا مقدسًا في الزراعة يُسمَّى ب «الأخوات الثلاث». يتضمَّن هذا الأسلوب زراعة الذرة والفاصولياء والقرع معًا، وقد مارَسَه العديد من شعوب الأمريكيين الأصليين فترات طويلة.[4] ومع بالغ الاحترام لهدية «الأخوات الثلاث» وغيره من المعارف البيئية التقليدية الأخرى، دون نية في تبني هذه المعارف، أستكشف في هذا الفصل ما يمكن أن نكتسبه من حكمةٍ عند التفكير في هذه الممارسة والتأمُّل العميق فيها.

ما السبب في هذا الانتشار الواسع لنظام الأخوات الثلاث؟ إنَّ زراعة الذرة والفاصولياء والقرع معًا، تُمكِّن الزارع من الحصول على نقاط قوَّتها التكميلية. فالذرة توفِّر الدعم الرأسي للفاصولياء. وتوفِّر الفاصولياء النيتروجين في صورةٍ يسهل الحصول عليها والتي تعمل كسمادٍ لجميع المحاصيل. أما القرع الذي يكون قريبًا من الأرض، فيثبط نمو الحشائش ويحافظ على رطوبة التربة للشريكَيْن الآخرَين. والواقع أنَّ النباتات التي تُزرع في مزارع تعدُّدية بأسلوب الأخوات الثلاث، تنتج محصولًا أكبر مما كان سينتجه كلٌّ منها إذا زُرِع بمفرده في مزرعة أحادية.[5] إنَّ هذه الممارسة الزراعية التي تستخدمها الشعوب الأصلية تجسِّد النتائج الإيجابية للعلاقات التبادلية التي يعزِّزها التنوُّع. فمن الممكن أن يكون أداء الأفراد في البيئات المتنوعة أفضلَ مما قد يكون عليه حين يُحاولون العمل بمعزلٍ عن الأفراد أو مع أولئك الذين يشبهونهم فحسب. فهم يكونون أفضل معًا، وكذلك

نحن أيضًا. وقد كتبت روبين وول كيمرَر، وهي باحثةٌ في علم بيئة النبات وعضوةٌ مُسجلةٌ في قبيلة بوتاواتومي المعترَف بها فيدراليًّا، تقول: «إنَّ دروس التبادل مكتوبةٌ بوضوحٍ في حديقةٍ مزروعةٍ بأسلوب الأخوات الثلاث.»[6]

ومثلما هي الحال في جميع العلاقات الرائعة، يتخذ التوقيت أهميةً بالغةً في الاستفادة من القدرة التآزرية لنظام الأخوات الثلاث.[7] فالدراسات التي أُجريَت على الزراعة البينية للكسافا مع موز الجنة، تؤيِّد الدرس المُستقى من نظام الأخوات الثلاث، والمتمثل في أنَّ التسلسل الذي يُزرَع به كل نوعٍ من الأنواع ويستقر هو عاملٌ أساسيٌّ في تحديد الإنتاجية النهائية للمحاصيل التي تُزرع معًا.[8]

ففي نظام الأخوات الثلاث، تنبثق الذرة أولًا؛ إذ تمتص البذور الرطوبة في التربة التي تُعزِّز الإنبات. تنمو جذور شتلات الذرة، وتبدأ في تطوير الأوراق وتمديدها، وتؤسس بناءً ضوئيًّا قويًّا يسمح بالانتقال إلى طور الاستقلال. وبدلًا من استهلاك الغذاء المخزَّن في البذور، ستصبح الشتلات قادرةً الآن على إنتاج غذائها عبر البناء الضوئي. ستكون الأخت التالية التي تظهر هي الفاصولياء. إنَّ بذرة الفاصولياء التي تنبت وتنبثق بمفردها تنمو بالقرب من الأرض وتكون عرضة للغاية للضرر والإجهاد الناتجَيْن عن عوامل حية وغير حية أيضًا، مثل الافتراس أو الضوء المنخفض. أما حين تنمو الفاصولياء بجوار نبات الذرة، فإنها تستمدُّ الدعم من أختها نبتة الذرة وترتقي حرفيًّا ومجازيًّا. فارتفاعها عن الأرض يعزِّز النمو. فحين يلتف ساق الفاصولياء على ساق الذرة، فإنَّ ذلك يزيد من تعرُّضه لضوء الشمس لدفع عملية البناء الضوئي. ومثلما سنرى في القسم التالي، تلعب جذور الفاصولياء أيضًا دورًا مهمًّا في توفير النيتروجين. أما الأخت الثالثة، وهي القرع، فإنها آخر ما ينبت. ينشر نبات القرع أوراقًا عريضةً قريبةً من سطح التربة طَلَبًا للمساحات المفتوحة في الغطاء الشجري، التي ينفذ ضوء الشمس خلالها. والمزيد من الضوء، يعني المزيد من البناء الضوئي، وإنتاج المزيد من السكريات المعزِّزة للحياة. وهذه الأوراق المنخفضة المفترشة للأرض، تغطِّي الأنظمة الجذرية للأختَيْن الأخريَيْن وتحميها، كما أنها تحُول دون نمو الحشائش واستقرارها وتحمي التربة من الجفاف، ولأنها شائكةٌ فهي تردع آكلات العشب المستقبلية لجميع الأخوات الثلاث.[9] إنَّ توقيتَ نموِّ الأخوات الثلاث واستقرارَها بمثابة رقصةٍ بديعة التصميم. فهذا الثلاثيُّ يجسِّد، على حد تعبير كيمرَر، «معرفة العلاقة»، ولرقصته دلالاتٌ تمتدُّ إلى ما هو أبعد كثيرًا عن وجودِها وازدهارِها.[10]

حين نلاحظ حديقةً مزروعةً بأسلوب الأخوات الثلاث، يمكننا أن نرى بسهولة كيف أنَّ النباتات الثلاث توزِّع أوراقَها في المكان كي تتفادى التنافُس بعضها مع بعض.[11] غير أنَّ قِلةً من الملاحظين فقط هم مَن قد يستطيعون تمييزَ العوامل الأخرى الكائنة تحت الأرض التي تدعم هذا النظام البيئي. فكثيرًا ما تشكِّل الجذور علاقاتٍ مع الكائنات الدقيقة الأخرى الموجودة في التربة، وتؤثِّر هذه العلاقاتُ بدورها في اللياقة العامَّة للنباتات، بدايةً من استقرارها، حتى نموها وإزهارها.[12] وليس نظام الأخوات الثلاث استثناءً من هذا.

تحت الأرض، تدعم الأخوات الثلاث بعضها بعضًا تمامًا مثلما تفعل فوق الأرض. فجذور نباتات الذرة ضحلة بعض الشيء؛ إذ تشغل الجزء العلوي من التربة، بينما تمر الجذور الوتدية العميقة لنباتات الفاصولياء تحتها. ويمد نبات القرع جذوره في الأماكن التي لا تشغلها جذور الأختَين التي استقرَّت قبل جذوره. يستطيع نبات القرع إنشاء جذورٍ إضافيةٍ في أي مكانٍ يلتقي فيه الساق بالتربة، وتُعرَف هذه الجذور بالجذور العَرَضية. وهذه الجذور، التي يمكن وضعها في أي أماكن خالية في الموقع البيئي، تكمِّل نمو نبات القرع وصموده.[13] وهذه الجذور العرضية، إلى جانب الشعيرات الجذرية للأختَين الأخريَين، تستطيع توزيع نفسها عبر الأجزاء المتاحة من التربة، ممَّا يسمح للنباتات بالبحث عن الموارد وإقامة علاقاتٍ مع النباتات الأخرى.[14] وهذا التعاوُن الذي يجري تحت الأرض يُشكِّل أهميةً لعلاقة الأخوات لا تقلُّ عن أهمية التعاون الذي يجري فوق السطح. وهكذا تُثبت التفاعلات التبادلية للنباتات في الزراعة المشتركة مجددًا، على حد وصف كيمرَر، أنَّ «جميع الهدايا تُضاعَف في العلاقة.»[15]

إضافةً إلى امتصاص الرطوبة والمغذيات من التربة، تُقيم جذور النباتات علاقاتٍ تكافلية مع البكتيريا والفطريات. فالبكتيريا تثبِّت النيتروجين في التربة في صورةٍ تستطيع النباتات استخدامها. وتكوِّن الفطريات الجذريات الفطرية التي تحسِّن امتصاص الماء والحصول على النيتروجين والفوسفات. ولا تحدث هذه التفاعلات من جانبٍ واحد؛ إذ يحصل النبات على المزيد من الرطوبة والمخصبات، بينما تحصل الفطريات من النبات على هدايا تتمثَّل في السكريات.[16]

في حالة الأخوات الثلاث، تُوفِّر الأخت الثانية، وهي الفاصولياء، سماد النيتروجين نتيجةً لاستيطان نوعٍ محدَّدٍ من البكتيريا المثبِّتة للنيتروجين فيها.[17] وبالرغم من أنَّ الجذريات الفطرية غالبًا ما لا تحوز تركيزًا كبيرًا في الأبحاث المتعلقة بنظام الأخوات الثلاث، فإنها تؤدِّي فيه دورًا مهمًّا، تمامًا مثلما تفعل في البيئات الطبيعية. وللجذريات

الفطرية أهميةٌ خاصَّةٌ في بناء المجتمع والتواصل؛ إذ يستطيع فطرٌ واحدٌ أن يصلَ بين العديد من النباتات تحت الأرض، ممَّا يُؤدِّي إلى تكوين صلاتٍ وشبكاتٍ فيما بينها. فالجذريات الفطرية لا تحصل على الكربون من النباتات التي تستوطنها فحسب، بل تُسهِّل أيضًا مشاركة الكربون بين أفراد النباتات التي تصل فيما بينها.[18] وينتج عن هذا النوع من التفاعُل شبكاتٌ لمشاركة الموارد بين أفرادٍ متمايزةٍ من النباتات يربطها مجتمعٌ واحد؛ مما يمثِّل اقتصادًا من نوعٍ ما.

وبالرغم من أنَّ نباتاتِ الأخواتِ الثلاث تعمل معًا في تناغُم، فليسَت جميع التفاعلات في بيئةٍ متنوعةٍ تكون حميدةً بالقدر ذاته. ولهذا؛ فمن المهم أيضًا للنباتات أن ترصد البيئة وتستجيب وفقًا لما ترصده. فمثلما رأينا في الفصل الثاني، لا بد للنباتات أن تدرك ما إذا كانت التفاعلات المحتملة من المرجَّح أن تكون خطرة أم نافعة؛ أي ما إذا كانت الكائنات الأخرى التي ستتعامل معها أصدقاء أم أعداء. تستطيع النباتات تمييز البكتيريا الضارة؛ أي المسبِّبة للأمراض، من خلال جزيئاتٍ محدَّدةٍ توجد في الجدران الخلوية للبكتيريا. فقد حُفِظَت بعضُ هذه الجزيئات بدرجةٍ كبيرةٍ من خلال التطوُّر؛ لذا فإنَّ العديد من مسبِّبات الأمراض المختلفة تحتوي على الجزيئات نفسها. ويمكن لمستقبِلات النباتات أن تكشف هذه الشظايا الجزيئية لمسبِّبات الأمراض؛ مما يمثِّل إشارةً قويةً بوجود خطرٍ وشيك.[19] ونظرًا لأنَّ هذه الجزيئات تنطلق حين تتفاعَل البكتيريا مع سطح النبات أو مع التربة، تُرسَل إشارة وجود معتدٍ محتمَل إلى النباتات المجاورة أيضًا. ونحن نرى هذه القدرة على إرسال إشارة الخطر في بعض الحيوانات أيضًا. فحين تتعرَّض الأسماك لهجومٍ من المفترسات، على سبيل المثال، تطلق الأسماك موادَّ كيميائية يمكن لمجموعةٍ أخرى من الأسماك القريبة أن تشمَّها. وحين تكون تلك الأسماك المجاورة من الأقارب، تطلق الأسماك التي تتعرض للهجوم مزيدًا من هذه المواد الكيميائية.[20]

تستجيب النباتات لمثل هذه التهديدات بآلياتٍ دفاعيةٍ تعمل موضعيًّا وعن بُعد أيضًا. لعلك تتذكَّر أنَّ النبات حين يتعرض لهجومٍ من أحد مسبِّبات الأمراض، ينتج مركَّبات عضوية متطايرة تنتقل عبر النبات نفسه أو عن طريق الهواء، إلى نباتات أخرى محذِّرة إياها من الخطر.

إنَّ هذا النوع من السلوك هو الذي يسمح للنباتات بالبقاء والازدهار في ظروفٍ ديناميكية. ليست المفترسات وحدها التي تتغير فحسب، وإنما تتغير أيضًا خواص التربة

مثل توافر المغذيات ومحتوى الرطوبة ومستوى حامضية التربة وتركيب مجتمعات النباتات، مع مرور الوقت. فيمكن لمستوى الضوء أو المغذيات في التربة أن يتغيَّر حين تصبح النباتات أكثر تكتلًا ويزداد طول بعضها. إنَّ الظروف البيئية متغايرةُ الخواصِّ يمكن أن تعزِّز من مرونة المجتمع البيئي وتزيد تنوُّع الأنظمة البيئية.[21]

يوضِّح لنا نظام الأخوات الثلاث أنَّ التبادل في البيئات المتنوعة يؤدي إلى نموٍّ مثمر. علاوةً على ذلك، فهو يوضح أيضًا ما ينتج عن تفاعلات المجتمع من آثار نافعة ويبرز حكمة النهج المستند إلى النظام البيئي في تعزيز التواصل ودعم النجاح. يُعد نظام الأخوات الثلاث أيضًا مثالًا على قوة الشراكة، والعلاقات التبادلية، وتقسيم الموقع البيئي، وتدوير المغذيات أو الموارد.[22] إنَّ دروس نظام الأخوات الثلاث قابلة للتطبيق بالقدْر نفسه على المناقشات التي تُدار بشأن القيم الجماعية.[23]

غير أن الدرس الأعظم والأكثر بقاءً هو فَهْم أنَّ كل فردٍ في مجتمعٍ ما يجلب معه مهاراتٍ معينةً وله القدرة على تقديم مساهماتٍ فريدة. علينا أن ننمي وعي الأفراد بشأن إسهاماتنا المميزة، ونعزِّز التآزر فيما بينها، ونرعى مجتمعًا يرحِّب بهذه الهبات ويدرك كيف أنها تساعد المجتمع ككل وتعمل على الارتقاء به.[24]

إنَّ الشعوب الأصلية التي طوَّرت المعرفة بشأن نظام الأخوات الثلاث في زراعة المحاصيل أدركت فوائد زراعة الذرة والفاصولياء والقرع معًا، وذلك قبل فترة طويلة من إدراك العلماء للعلاقات التبادلية وتسمية الآليات والعمليات التي تكمن خلفها. فلتتخيَّل كل المعارف الأخرى التي كانت مجموعات السكان الأصليين بشأن العالم الطبيعي، ولا تزال، تمتلكها. ربما حان الوقت لرَأْب الصدع بين أساس المعرفة لدى الشعوب الأصلية والأساس العلمي للمعرفة.[25] إنَّ الجمع بين هذَين النوعَين من المعرفة بهذه الطريقة يعكس العالم الطبيعي. فهاتان الأختان تقدِّمان دروسًا مستلهَمة من المعرفة بالنباتات وتتجاوزها أيضًا. ففي النهاية، وكما توضح كيمرر، «تطالبنا العلوم بالتعلُّم «بشأن» الكائنات. وتطالبنا المعرفة التقليدية بالتعلم «منها».»[26]

إنَّ طبيعة العلاقات التبادلية في حديقة الأخوات الثلاث يمكن أن تقدِّم لنا الإرشاد بشأن الطريقة التي نقيم بها، نحن البشرَ، التفاعلات في مختلف المجالات، بما في ذلك المجال الشخصي والمهني والتعليمي. فكثيرًا ما نرى هذه الجوانب من وجودنا تتنافس بعضها مع بعض فيما يتعلَّق بالوقت والطاقة والموارد، وغير ذلك من العوامل.[27] ونظرًا

لأنَّ ما نبذله من وقت وطاقة في جوانب مختلفة يكون مدفوعًا بصفة عامة بالمكافآت والالتزامات المنظورة، فإننا نميل إلى رؤية الانخراط في أحد المجالات باعتباره يقتطع وقتًا وطاقة ثمينَين من الانخراط في المجالات الأخرى؛ مما يتركنا في حالة دائمة من التنقل بين المطالب المتنافسة.

وبدلًا من النظر إلى هذه المجالات باعتبارها متنافسة بعضها مع بعض، علينا التفكير في أنَّ تكامل المجالات أو التغذية البينية التبادلية لها، يمكن أن تجلب فوائد على الصعيدَين الشخصي والمهني على حدٍّ سواء، مثلما يمكن أن تعمل زراعة محاصيل مختلفة معًا على تعزيز الإنتاجية.[28] بصفتي أستاذة في الجامعة، غالبًا ما أشعر بالتمزُّق بين مسئولياتي في التدريس، والإرشاد، وإجراء الأبحاث، والمشاركة في الأنشطة الخدمية. وحينما بدأت أرى التشابك بين جميع هذه الالتزامات، وبدأت في تطوير أنشطة تآزرية مثل استخدام الاكتشافات الجديدة من أبحاثي كمواد أساسية في محاضراتي، صرت أكنُّ تقديرًا شخصيًّا لأهمية تنمية التبادل. فلا شك أنَّ «التوازن» بين الحياة الشخصية والعمل من شأنه أن يفرز أولويات مختلفة ويقدِّم فرصًا إضافيةً لو نظرنا إلى المجالات المختلفة باعتبارها جوانب تبادلية من المسئولية أو الفرصة، لا جوانب تتنافس على الوقت أو الطاقة أو الموارد.

وكما هي الحال مع الذرة في حديقة الأخوات الثلاث، فإنَّ المجال الأول هو الأساس الذي يدعم نمو مجال آخر. وبعد ترسيخ أساس أولي قوي، يمكننا أن نسعى لتعزيز نمو مجالٍ ثانٍ يرتبط باهتمامنا الأساسي الذي يدعمه، في علاقة اعتمادية تبادلية. وأخيرًا، نضيف مجالًا ثالثًا مهمًّا لكنه أقل من حيث الأولوية. وبعد إرساء المعيار الأساسي الذي نرغب في تقييم نجاحنا في حياتنا أو عملنا وفقًا له، يمكننا تحديد الأنشطة التكميلية التي تتكامل مع مجالَينا الأول والثاني — أو «الأختَين» الأولى والثانية — أو ترتقي بهما، وذلك بطرقٍ من شأنها أن تسفر عن خلق شراكة. في حياتي المهنية، تتحدَّد المجالات الثلاثة وفقًا لمعايير المراجعة والترقية، وهذه المجالات هي البحث والتدريس والخدمة. أما في حياتي الشخصية، فثمة مجالان أساسيان محدَّدان، وهما تربية الأبناء وحياة العمل، أما المجال الثالث، وهو الاعتناء بالنفس، فهو خيار شخصي. وكالذرة والفاصولياء والقرع في حديقة الأخوات الثلاث، «لا تتنافس هذه المجالات بل تتعاون.»[29] فالقيام بجولات مشي طويلة مع ابني في الصيف، تُعَد طريقة من الطرق التي أدمج بها بين مجالي التربية والاعتناء بالنفس في إطار تعاوني. إنَّ نظام الأخوات الثلاث يوفِّر إطارًا ثريًّا لاستلهام التكامل بين المجالات الشخصية والمهنية.

علاوةً على ذلك، يقدِّم لنا نظام الأخوات الثلاث دروسًا عن «صلاحية الآخرين من [الكائنات الحية] لاتخاذهم معلمين لنا، واعتبارهم من حاملي المعرفة، واتخاذهم مرشدين»، على حد تعبير كيمرَر.[30] إنَّ هذه الدروس أساسية لتحقيق الكفاءة العابرة للثقافات، وتعزيزها وتنفيذها. فالطريقة المثلى لتيسير السبل أمام الأفراد ذوي الخلفيات الثقافية المتنوعة لتحقيق النجاح ودعم نجاحهم هي إدراك قيمة الهبات التي يقدِّمها كلٌّ منهم. وعلينا أن نطبِّق هذا الدرس في الكثير من النطاقات: في مجتمعاتنا ومدارسنا وأماكن عملنا.[31] وهذا الدرس يزداد أهمية إذ تستمر الطبيعة السكانية للولايات المتحدة في التغير، ويزداد التنوُّع في مجتمعات المتعلِّمين والعمال بسرعة كبيرة.[32] ومن ثمَّ؛ فإنَّ قدرتنا على إدراك المنافع التبادلية للتنوع وتقبلها، أمر في غاية الأهمية.

إذا استطعنا أن نفتح أعيننا على هذه الدروس التي تقدِّمها لنا الأخوات الثلاث، بل النباتات جميعها في حقيقة الأمر، فسنجد أنَّ ثمة وفرة فائضة من الحكمة في انتظار وعينا بها وتطبيقها.



«إنني أختار ... أن أحيا حتى يذهبَ ما يأتيني بذرةً إلى من يليني زهرةً، وحتى يذهب ما يأتيني زهرةً وقد صار ثمرةً.»

داونا ماركوفا
«لن أموت في حياة لم تُعَش»

الفصل السادس

خطة للنجاح

أتذكَّر أمي حين كانت تراقب عن كثب أحد نباتاتها العزيزة يبلغ نهاية حياته في أصيصٍ محدَّد. وغالبًا ما كانت تعلِّق بأنَّ الوقت سيحين قريبًا لزراعته في أصيصٍ آخر أو تقسيمه إلى أجزاء. بعناية شديدة كانت تُخرِج النبات من أصيصه القديم، ثم تضعه في أصيص جديد أكبر، أو تفصل الفسائل وتزرعها من جديد. ذلك أنَّ عدم نقل النبات إلى مكان آخر يحتوي على وفرة أكبر من الموارد من شأنه أن يؤدي إلى ضموره أو موته أو إزهاره قبل أوانه في بعض الأحيان. ولَّما كانت أمي هي راعية النباتات، فقد كانت تيسِّر هذه العملية بالانتباه الدقيق والتدخُّل؛ مما يساعد النبات على الازدهار في بيئته مع السماح بالانتقال إلى المرحلة التالية من دورة حياته بصورة طبيعية.

في الفصل الرابع، ناقشنا التعاقب البيئي في سياق التحوُّل. وقد رأينا أنَّ قدرة النبات على التنافس مع غيره أو التكيُّف مع مجتمع متغير تحدِّد طول المدة التي يستطيع أن يحياها في بيئة محددة.[1] فإذا كانت البيئة غير قادرة على تعزيز بقاء النبات على المدى الطويل، فإنه سيضع خطة لإيقاف ارتباطه مع البيئة الحالية. تتمثل إحدى الاستراتيجيات التي يستخدمها النبات لتحقيق ذلك في الانتقال من طور النمو إلى طور الإزهار وتكوين مجموعة البذور، أملًا في أن تجد البذور ظروفًا أفضل.

يتبع كل نبات نمطه الطبيعي من النمو والتطور بناءً على تاريخه وبما يتلاءم مع بيئته الحالية ومجتمع الكائنات الأخرى الذي يتعايش معه. فلا بد للنبات الحولي أن يزهر وينتج بذوره خلال موسمه الأحادي، وإلا فسيفقد فرصته في إنتاج نسل، بينما يستطيع النبات المعمَّر تفويت موسمٍ ناجحٍ من الإزهار وإنتاج البذور؛ إذ ستكون لديه فرصٌ للتكاثر في سنواتٍ لاحقة.[2] وبالرغم من أنَّ النباتات ذات الدورات الحياتية المختلفة قد توجد في البيئة نفسها، فإنَّ كلًّا منها يتسم بحصيلةٍ محددةٍ من السلوكيات تستند إلى

التركيب الجيني (وإن كانت قابلةً للتوليف مع البيئة)، ولا بد للنبات أن يعدِّل إنفاقه من الطاقة وسلوكياته وفقًا لها.

لما كانت النباتات تمتلك كميةً محددةً من الطاقة، شأنها في ذلك شأن جميع الكائنات الأخرى، فمن الضروري للغاية لها أن تتخذ قرارات بناءً على عملية الرصد البيئي. فعلى النباتات أن تضع ميزانيتها للطاقة بحرصٍ شديد، لا سيما حين تكون الموارد محدودة؛ إذ إنَّ الطاقة التي تُستخدم لنشاطٍ ما، لا تعود متوفرة لغيره من الأنشطة.

بعد استخدام قدراتها الحسية لتقييم التغيرات في البيئة، تقرِّر النباتات الإجراءات التي ستتخذها من أجل البقاء والاستمرار في الإنتاجية. فإذا قرَّر النبات أنَّ استمرار البقاء مستحيل، فإنَّ ما يُقرِّره بصفةٍ أساسيةٍ هو التخطيط لدعم تقدُّم الجيل التالي.

إنَّ استجابات النباتات لبيئتها تكون مدفوعةً بالظروف التي قابلتها على مدار دورة حياتها. فيمكن للمراحل المبكِّرة من الحياة، مثل استقرار الشتلة، أن تؤثِّر في المراحل اللاحقة من الحياة، كما أنَّ الكيفية التي يستجيب بها النبات للإشارات البيئية في مراحل معينة من دورة حياته يمكن أن تؤثِّر في خصائصه. حتى النباتات الشديدة التشابه جينيًّا، قد تُظهِر مستويات مختلفة من مرونة النمط الظاهري تنتج عن استجابات جزيئية للإشارات البيئية. على سبيل المثال، درس العلماء نوعَين بيئيَّين — أي متغيرَين جينيَّين منفصلَين — لنباتٍ مزهرٍ صغير، هو نبات النجمية الطويلة الساق، الذي كان قد تكيَّف على مدار أجيالٍ عديدةٍ على بيئتَين متضادتَين، واستجاب على نحوٍ مختلفٍ للإشارات البيئية التي تنوَّعت بين الموئلَين المتغايرَين.[3] درس الباحثون النوع البيئي الذي كان ينمو في البراري حيث النباتات الكثيفة والظل، والنوع البيئي الآخر الذي كان ينمو في مروج الألب حيث النباتات أكثر تباعدًا بعضها عن بعض، والمنافسة على الضوء أقل. وجد الباحثون أنَّ نوع البراري المتكيف على الظل يتسم بقدرةٍ تنافسيةٍ عاليةٍ على الاستطالة بسرعةٍ في وجود الظل. في المقابل، كانت النباتاتُ الألبية المتكيفة على الشمس تُظهِر استجابةً أقلَّ كثيرًا للظل؛ إذ كانت تستطيل بدرجةٍ أقل كثيرًا عند تعريضها تجريبيًّا إلى ضوءٍ محدود، وهي إشارةٌ لم تقابل هذه النباتات إلا نادرًا. يعود التفاوت الملحوظ في قدرات الاستجابة لتوافر الضوء إلى التفاعلات بين التكوين الجيني والاستجابات الجزيئية للإشارات البيئية والتاريخ البيئي.

إنَّ الموئلَ الطبيعيَّ للنبات، وتاريخ حياته، وقدرته الجزيئية على الاستجابة للموارد المتفاوتة في توافرها، كلها أيضًا من العوامل التي تؤثِّر في استجابات النبات خلال دورة حياته. يمكن ملاحظة تأثيراتِ التاريخِ البيئيِّ مبكرًا للغاية منذ خروج النبات الجنيني

من البذرة. وتُعرف هذه المرحلة من نمو النبات، بالتحوُّل من البذرة إلى الشتلة، وهي مرحلةٌ حرجةٌ من مراحل النمو وتتأثر بكلٍّ من ديناميكيات البيئة التي غُرِس النبات فيها، والتاريخ البيئي للسلالة التي انبثق منها.[4] خلال مرحلة التحوُّل من البذرة إلى الشتلة، يحدث تغيُّر مهم للغاية من الاعتماد على الطاقة المخزَّنة التي أودعها النبات الأم في النبات الجنيني، إلى الاعتماد على الذات في النمو، والذي يعتمد على الطاقة التي ينتجها النبات خلال عملية البناء الضوئي. وهذا التحوُّل غير يقيني. فلا بد للشتلة أن تضبط أيضها بدقة، مع الحرص على إنفاق طاقتها بعنايةٍ كي تتمكَّن من جمع كل المكوِّنات اللازمة لدعم البناء الضوئي قبل أن تنفد مخازن طاقتها الموروثة. ونظرًا لأنَّ الشتلات عرضةٌ بدرجةٍ كبيرةٍ للافتراس وغير ذلك من الأخطار، فإنَّ التحوُّل من البذرة إلى الشتلة مرحلة حرجة لاستقرار النوع يمكن أن تحدِّد تكوين جماعات النباتات.[5] وبالرغم من أنَّ هذه الفترة الانتقالية تمثِّل جزءًا صغيرًا للغاية من إجمالي دورة حياة النبات، فإنها يمكن أن تدفع ديناميكيات المجتمعات الطبيعية، ولها آثارها فيما يتعلَّق بالحفاظ على تنوُّع النوع. من المؤكد أنَّ الأنماط العامة لتوقيت الإنبات تتحدَّد وفقًا لاستراتيجيات تاريخ تطوُّر الحياة. بالرغم من ذلك، يمكن للعوامل البيئية مثل توافر الضوء أو المياه أن تتدخَّل لتغيير توقيت إنبات العديد من البذور. ولهذا، فإنَّ التنظيم الدقيق لتوقيت هذا الانتقال وتقدُّمه يمنح النباتات طريقةً لإدارة تخطيط التعاقب في بيئاتٍ بعينها.[6]

للبيئة تأثيرٌ بالغٌ على كيفية انتقال النباتات من إحدى مراحل دورة الحياة إلى أخرى، أو من جيلٍ إلى آخر. ففي ظل ظروفٍ بيئيةٍ محددة، على سبيل المثال، قد تُقرِّر النباتات أن تسرِّع من دورة حياتها، أو أن تنفض عنها أوراقها. إنَّ النباتات لا تتخذ قرارًا بإنهاء دورة حياةٍ أو التضحية بأعضاء ضروريةٍ للغاية منها بلا مبالاة. لكنها تدرك أنَّ التضحية بالإنتاجية على المدى القصير من أجل البقاء على المدى الطويل هو أحكم قرار تستطيع اتخاذه.

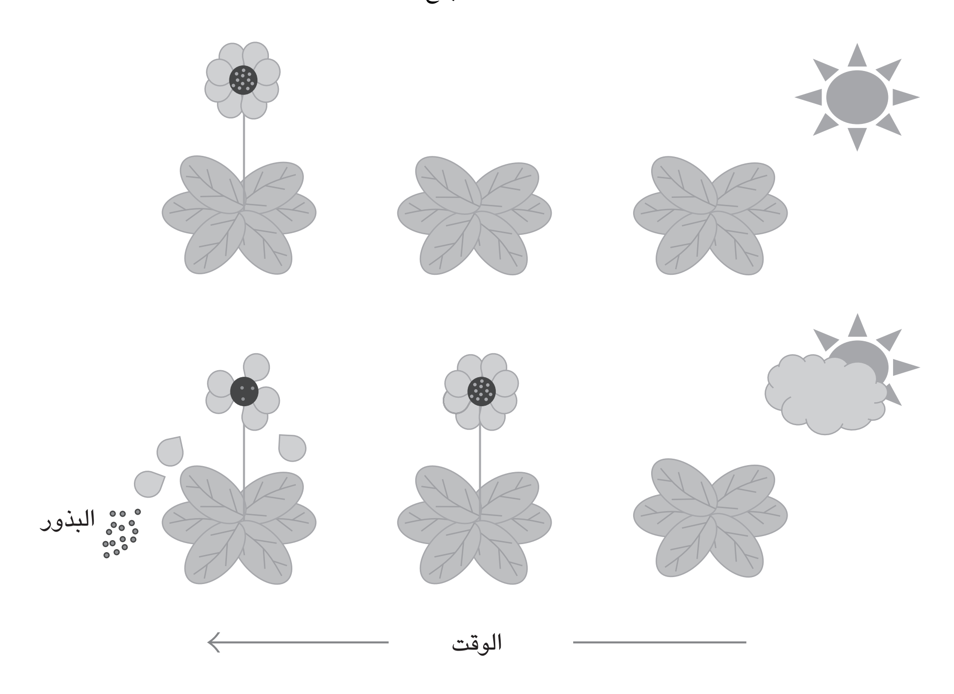
حين تستمر الأجواء الظليلة فترةً طويلة، تسرِّع بعض النباتات المتجنِّبة للظل من نموها عن طريق تقليل الوقت اللازم للإزهار. فمن نتائج قِصر فترة حياة النباتات الحولية أو قصر موسم النمو للنباتات المعمرة أنَّ الفترة المخصصة لتخزين الموارد تقصر أيضًا.[7] وتنتج النباتات التي تختار هذا المسار عددًا أقل وأصغر حجمًا من البذور الناضجة. غير أن إنتاج بعض البذور ربما يكون أفضل من المخاطرة بالاستمرار في حالة خضرية غير تكاثرية، وعدم إنتاج أي بذور على الإطلاق إذا استمرَّت الظروف السيئة. وإضافةً إلى

تقليل وقت الإزهار، عادةً ما تقلِّل هذه النباتات أيضًا من التفرُّع؛ مما ينتج عنه تقليل إجمالي الكتلة الحيوية للأوراق المتاحة لاستثمار الطاقة.

ثمة شكلٌ آخر للتخطيط للمستقبل، وهو شكلٌ نألفه جميعًا ونستمتع به للغاية، ألا وهو: الظهور السنوي لألوان الخريف. هذه هي الفترة التي تسقط فيها أوراق الأشجار النفضية والشجيرات استعدادًا للبيات الشتوي. ومن الأجزاء الأساسية في هذه العملية المنظمة الشديدة التناسق تقليلُ النباتات من إنتاج الكلوروفيل؛ الذي يستهلك الكثير من الطاقة، وتبدأ في تحليل مخازن الكلوروفيل الموجودة بالفعل. ويؤدي هذا إلى تعطيل عملية البناء الضوئي؛ مما يتيح للنبات الحفاظ على الطاقة التي ستلزم لصيانة أجهزة البناء الضوئي، وتفادي التكاليف الأيضية لدعم الكتلة الحيوية للأوراق خلال الشتاء. تقوم النباتات أيضًا بنقل المغذيات من الأوراق إلى الأجزاء الأخرى من النبات التي ستبقى خلال الطقس البارد.[8]

يؤدي فقدان الكلوروفيل إلى أن تصبح بعض الصبغات الأخرى في الأوراق أكثرَ وضوحًا للعين البشرية، مثل صبغات الكاروتين ذات الألوان الصفراء والبرتقالية الفاقعة والزاهية، وصبغات الأنتوسيانين الحمراء اللون.[9] يحدث التغيُّر في تركيب الصبغة بالتنسيق مع توقيت سقوط الأوراق، باعتباره إحدى وظائف التخصيص الاستراتيجي للطاقة. وهذه العملية هي الأساس لخطةٍ مستقبليةٍ تستعدُّ النباتات من خلالها للوجود في حالةٍ أكثر سكونًا. فعن طريق التضحية بأوراقها، تستطيع الشجرة استخدام الطاقة الضئيلة التي تنتجها خلال فصول الشتاء للقيام بالأيض الأساسي والعمليات المرتبطة بحماية الأنسجة المولِّدة والبراعم، والتي ستُستخدم في الربيع للبدء في إنتاج أوراق جديدة. وبالرغم من أنَّ سقوط الأوراق يختلف من بعض النواحي عن تسريع الإزهار؛ إذ تُسقِط الأشجار النفضية أوراقها كل عام، يمكن تعديل التوقيت بدرجةٍ ما للاستجابة للتغيُّرات في الإشارات الفصلية.

يمكن أن يحدث التخطيط للمستقبل على المستوى الفردي كما رأينا في الأمثلة السابقة، وقد يجري تنسيقه أيضًا على مستوى المجتمع. ومن أمثلة التخطيط للمستقبل على مستوى المجتمع، مشاركة الموارد بين النباتات الناضجة والنباتات الأصغر سنًّا، حين تكون الظروف غير مثالية كوجود نقصٍ في الموارد. فقد اكتشف الباحثون أنه في بعض الحالات، تقوم النباتات الأكبر سنًّا والتي تُسمى «النباتات المرضة»، بمساعدة النباتات الأصغر سنًّا وحجمًا (من النوع نفسه أو من نوع مختلف عنها). وبالرغم من أنَّ



النباتات التي تنمو في ظروفٍ أقل من المثالية، كأنْ تنمو في ظل كثيف على سبيل المثال (الجزء السفلي)، يمكن أن تواجه قيودًا على البناء الضوئي؛ ومن ثمَّ إنتاج الطاقة، مقارنةً بتلك التي تنمو في ظروف مثالية كأنْ توجد في ضوء الشمس الكامل (الجزء العلوي). فإذا استمرَّت هذه الظروف السيئة، فقد تسرِّع هذه النباتات من الإزهار لزيادة احتمالية إنتاجها للبذور قبل انتهاء دورة حياتها.

النباتات اليافعة تتلقَّى المساعدة من النباتات الراعية، فإنَّ العلاقةَ تبادلية؛ ذلك أنَّ كلًّا من النباتات اليافعة والناضجة، ينمو ويتمكَّن من البقاء على نحوٍ أفضل عند التعاون معًا، مثلما يحدث مع الذرة والفاصولياء والقرع في نظام الأخوات الثلاث. فالنباتات اليافعة تستفيد من الظل الذي توفِّره النباتات الراعية، إضافةً إلى الحصول على المزيد من المياه والمغذيات، والذي ينتج عن تراكم نفايات الأوراق تحت النباتات الأكبر سنًّا. من المحتمل أيضًا أنَّ نفايات الأوراق هذه تساعد على تحسين خواص التربة من خلال تعديل طبيعتها الكيميائية ومستوى المغذيات وتعزيز العلاقات التكافلية مع البكتيريا والفطريات. تؤدي هذه التغييرات في التربة إلى تشكيل حلقة تغذية راجعة تدعم كلًّا من النباتات اليافعة

والأكبر سنًّا. ومن المنافع الأخرى للنباتات الراعية أنها تنتج أزهارًا أكثر مما تنتجه النباتات في مثل سنها التي تنمو منعزلة؛ ويُحتمَل أن يكون السبب في هذا هو خصائص التربة المحسَّنة. ثم إنَّ زيادة الأزهار يمكن أن تجذب المزيد من الملقحات؛ مما يعزِّز تأثير وجود عدد أكبر من الأزهار على مجموعات البذور.

ينطبق الأمر نفسه في الغابات، حيث يمكن للأشجار الأكبر سنًّا دعم الأشجار الصغيرة عبر النقل النشط للسكريات من النبات البالغ إلى النباتات الصغرى، وذلك عن طريق شبكات الجذريات الفطرية التي تربط جذور النباتات لتلبية احتياجاتها الشديدة من الطاقة.[10] وحين تموت الأشجار الكبرى، فإنها تعمل كمصدرٍ للمكوِّنات العضوية المعاد تدويرها، التي يمكن للأشجار الصغرى استخدامها من أجل النمو وزيادة لياقتها.

من الاستجابات المجتمعية الأخرى المتعلقة بالتخطيط للمستقبل ومشاركة الموارد، تلك الاستجابات المرتبطة بمجتمعات الجذريات الفطرية. فغالبًا ما ترتبط الفطرياتُ التي تكون الجذريات الفطرية بشبكة من النباتات المختلفة.[11] تسمح الجذريات الفطرية للنبات بادِّخار الطاقة؛ لأنها تزيد من امتصاص الجذور للمياه والمغذيات؛ مما يمثِّل للنبات فائدةً أكبرَ كثيرًا من تلك السكريات التي يشاركها مع شريكه الفطري.[12] إنَّ حقيقة أنَّ الجذريات الفطرية تربط بين نباتاتٍ متعددةٍ تسهِّل المشاركة في اتخاذِ القرارِ والحفاظِ على المجتمع؛ فالنباتات التي تتمتَّع بمخزوناتٍ إضافيةٍ من الطاقة يمكن أن تُشاركها مع أفراد مجتمعها المعرضة للضرر لدعم استمرار نموها وبقائها. ثمة تجربةٌ رائعةٌ أُجريَت في إحدى غابات سويسرا وثَّقت حد هذا التشارك. فقد تتبَّع الباحثون الكربون (في صورة ثاني أكسيد الكربون)، الذي مثَّلته شجرة تنوب طويلة ووجدوا أنَّ كميات كبيرة منه قد نُقِلَت إلى الأشجار المجاورة لها التي تنتمي إلى أنواعٍ مختلفةٍ عبر شبكةٍ من الجذريات الفطرية.[13]

من الطرق الأخرى التي تدعم بها النباتات بعضها بعضًا وتضمن بها النجاح المستقبلي، إرسال إشارات إلى جيرانها عند التعرُّض لهجوم. فمثلما رأينا في الفصل الثاني، حين تدافع النباتات عن نفسها من آكلات الأعشاب، يطلق العديد منها إشارات في صورة مركَّبات عضوية متطايرة. وتهدف هذه الإشارات إلى دَرْء الخطر عن النبات نفسه، إضافةً إلى تحذير الأقارب. (وقد طوَّرت بعض الحشرات وغيرها من آكلات العشب طرقًا للدفاع المضاد أيضًا. فتُطلق هذه المفترسات إشاراتها الخاصة التي تؤدي إلى تشويش التواصل بين النباتات، ممَّا يترك النباتات المجاورة في حالة ارتباكٍ تجعلها أكثرَ عرضةً لافتراس آكلات العشب.)[14]

إنَّ هذه الاستجابات المعقدة ذات الأساس المجتمعي، وتُنسَّق على مستوى النظام البيئي، عادةً ما تُفيد النباتاتِ جيدًا على المستويَيْن الفردي والمجتمعي. غير أن النباتاتِ غالبًا ما تُواجه صورًا متعددةً للإجهاد في الوقت نفسه، وعليها أن ترتب استجاباتها وفقًا للأولوية من أجل وضع ميزانيتها للطاقة. فإذا كان النبات يُعاني الإجهادَ الضوئي، على سبيل المثال، فقد يُرجِئ استجابته لمصادر الإجهاد الأخرى بصورة مؤقتة، كي يعطي الأولوية لتعديلِ قدرتِه على جَمْع المزيد من الضوء، أو حماية نفسه من فَرْط النشاط في حالة وجود فائض من الضوء.[15] لاحظ العلماء أيضًا أنَّ النباتات التي تتعامَل مع إجهاد الأملاح، مثل تلك النباتات التي تنمو في التُّرب الملحية التي يزداد انتشارُها في جميع أرجاء العالم، تكون أقل قدرةً على إصدار استجابات تجنُّب الظل، أما النباتات التي تستجيب للظل منها، فغالبًا ما تُظهِر قدراتٍ أقل على الاستجابة لهجمات آكلات العشب.[16]

في المجتمعات الطبيعية، تتمتَّع النباتات، مثلما رأينا، باستراتيجياتٍ لرعاية نفسها، والتفاعل مع غيرها من خلال وَضْع ميزانيةٍ للطاقة، أو تغيير دورة حياتها، أو مشاركة الموارد، أو إرسال إشاراتٍ بالخطر. أما حين نعتني، نحن البشرَ، بحدائقنا ونباتاتنا المنزلية ومحاصيلنا، فإننا نُقدِّم التدخُّلاتِ بوصفنا مقدمي الرعاية.

لقد حظينا جميعًا بنباتٍ نعتني به ولم يكن بخير حال. فما الذي نستطيع فِعْله إزاء نبات يعاني الإجهاد؟ كيف نساعد نباتًا منزليًّا لا ينمو جيدًا؟ لكي نتمكَّن من حل المشكلة، نركِّز بصفةٍ عامةٍ على ما يُنقِص البيئة أو ما يعيبها، أو نسأل بدلًا من ذلك عمَّا يعيب مقدِّم الرعاية. ونادرًا ما نتساءل عمَّا إذا كان النبات نفسه غير قادرٍ على النمو أو تحقيقِ النجاح.

لعل أكثر الاستجاباتِ شيوعًا لدى رُعاة النباتات تجاه النبات ذي الأداء الهزيل، هي القيام أولًا وقبل كل شيءٍ بإجراء تقييمٍ تفصيليٍّ لبيئة النبات. هل يحصل النبات على ما يكفي من الضوء، أم يحصل على فائضٍ منه؟ هل يحصل على الأنواع والكميات المناسبة من المغذيات؟ أيحصل النبات على قدرٍ أكثر أم أقل من اللازم من المياه؟ هل درجة الحرارة منخفضةٌ للغاية أم مرتفعةٌ للغاية؟ أتوجد علاماتٌ على تسبُّب الحشرات أو آكلات النباتات في ضررٍ يُهدِّد الحياة؟ أتوجد علاماتٌ أخرى على ضعف اللياقة أو الإجهاد؟ إنَّ هذا النوع من التحليل الشامل للمكوِّنات الحية وغير الحية في بيئة النبات يُشكِّل أهميةً بالغةً للنبات. عادةً ما يقوم مقدِّم الرعاية بعد ذلك ببعض التدخُّلات ويستمر في تقييم صحة النبات بعد تطبيقها، للتأكُّد من أنَّ المحاولاتِ المبذولةَ لتحسين الوضع ناجحةٌ بالفعل.

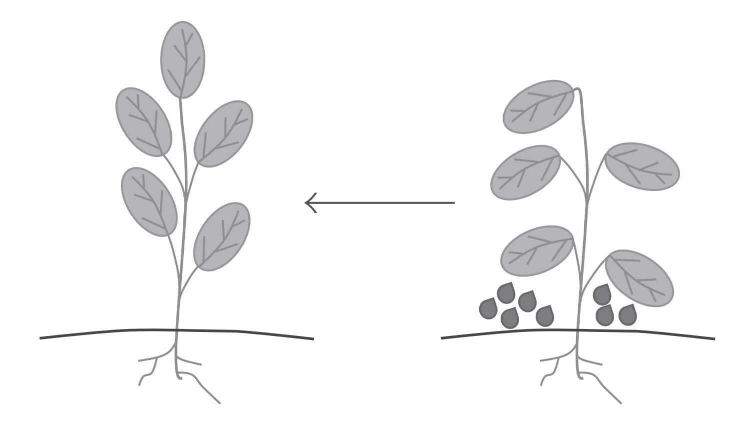
حين نقوم، نحن مقدِّمي الرعاية، باستكشاف البيئة الخارجية على نحوٍ شامل وموسَّع، ونكون قد حدَّدنا العيوب أو المتطلبات غير الملبَّاة، غالبًا ما نُدرك أنَّ النموَّ الناجحَ للنبات يستلزم موارد جديدةً أو تغيير موقع الموارد الموجودة بالفعل. إننا نُقيِّم ما إذا كان ينبغي توفير موارد أخرى موجودة بالفعل في مكانٍ آخر بالبيئة لدعم نمو النبات وتطوره، أم لا. فقد توجد المياه على سبيل المثال في صنبور، لكنها غير ذات نفعٍ إذا لم تصل إلى التربة التي ينمو فيها النبات. إن المعرفة الكاملة بالبيئة مع الوعي الكامل باحتياجات النبات الفردية، يُتِيحان لمقدمي الرعاية توصيلَ النباتاتِ بالموارد التي تحتاج إليها من أجل النجاح.

في بعض الحالات، يمكن أن يتوافر أحد الموارد بكميات كافية لكنه معيب من نواحٍ أخرى. فعلى سبيل المثال، قد يحتوي مياه الصنبور على شوائب تجعله دون المستوى. في هذه الحالة، يمكن للتنقية أن تحل المشكلة. وقد ينبغي أيضًا توفير شكل آخر من أشكال المياه مثل المياه المعبأة أو المرشحة، لدعم النمو القوي للنبات وبقائه.

لمساعدة النبات على الازدهار، لا بد أن يكون مقدم الرعاية قادرًا على معرفة احتياجاتِه الحاليةِ للنمو وكذلك احتياجاته التي تتطوَّر مع الوقت، ثم تحديد الموارد اللازمة وتوفيرها. إذا كان لدينا نباتان يتمتعان باحتمالية النمو نفسها، فإنَّ النبات الذي يحظى بالموارد الكافية سينمو على نحوٍ أفضل ويحظى بإنتاجية أكبر من ذلك النبات الذي لا يحصِّل ما يكفي من الموارد اللازمة.

كثيرًا ما نطلب، نحن مقدِّمي الرعاية، عون الخبراء حين يتَّضح أنَّ جهودنا غير فعالةٍ أو حين تنقصنا المعرفة بشأن ما يعوق نباتاتنا عن النمو. إننا نعزو الفشلَ إلى مواضع النقص والعجز فيما نُقدِّمه من رعايةٍ وعناية؛ ولهذا فإننا كثيرًا ما نبحث عن فرصٍ لتحسين نظام رعايتنا. فقد نطلب المساعدة من شخصٍ نعرف أنه يُجيد العناية بالنباتات. بمعنى أننا نسعى بهمةٍ ونشاطٍ لتلقِّي التدريب كي نتعلَّم أن نُصبح أفضلَ في تقديم الرعاية، ومن ذلك طلب النصيحة بشأن كيفية تحديد الموارد التي يحتاج النبات إليها أو كيفية تحسين قدراتنا في تقديم الرعاية.

إذا لم ينمُ النبات جيدًا، فقد يعزو مقدِّم الرعاية هذه النتيجة، كملاذ أخير، إلى فشلٍ في معرفة كيفية مساعدة النبات على الازدهار، وليس إلى فشل من جانب النبات نفسه. وبعد أن يستنفد مقدِّم الرعاية جميع التدخلات البيئية، ويكون قد تلقَّى التدريب أو طلب التدخُّل من أحد الخبراء؛ فقد يقرِّر في النهاية أنَّ النبات يفتقر إلى مواردَ لا يستطيع هو تحديدها،



من الواضح أنَّ النبات الذاوي (على اليمين) يحتاج إلى المياه، وهو أمرٌ يمكن لمقدِّم الرعاية توفيره. يدعم مثل هذا التدخُّل إعادة الصحة إلى النبات المروي (على اليسار)، بينما يستمر النبات الذاوي الذي لا يحصل على المياه في المعاناة من الإجهاد وقد يموت.

أو ربما أن النبات غيرُ قادرٍ على الازدهار في بيئةٍ معينةٍ أو في ظل رعايته. غير أن الغالب في مثل هذه الأمثلة أنه لا يوجد حكمٌ سلبيٌّ حقيقيٌّ على النبات في حد ذاته، بل قبول على مضض من قِبل مقدِّم الرعاية لفشله الشخصي في تعديل النقائص البيئية لدعم نمو النبات.

ولتعزيز النمو الفردي والنجاح لدى الأفراد، علينا تطبيق نفس العقلية القائمة على الاستقصاء، الذي نستخدمه مع النباتات. لقد وجدت أننا حين نعتني بنباتٍ ما، عادة ما نركِّز على ما نستطيع فعله لمساعدة النباتات على الازدهار. فحين نقوم بإرشاد أحد الأشخاص أو تدريبه، غالبًا ما تكون ميولنا مختلفة في البداية. ذلك أننا كثيرًا ما نُسارع إلى التركيز على ما نفترضه من مواطن ضعفٍ وعيوبٍ لدى الفرد، بدلًا من السعي لتحديد العوامل البيئية التي قد تعوقه.

إنَّ النهج الشامل المستنِد إلى عقلية النمو هو طريقةٌ أكثرُ فعالية بكثيرٍ لتعزيز نمو الفرد ونجاحه. يعترف هذا النهج بأهمية التركيز الثنائي الجانب، والذي يراعي إسهامات كلٍّ من الفرد والبيئة. ولحسن الحظ أنَّ المرشدين والقادة في بعض بيئات التعلُّم ومواقع العمل المهنية وبرامج التوعية المجتمعية وبرامج الإرشاد، يبدءون في استكشاف تأثير

العوامل البيئية على إمكانية النجاح أو النمو لدى الفرد، بدلًا من تطبيق المناظير القائمة على العيوب.

وبالرغم من هذا التقدُّم، فلا يزال أمامنا الكثيرُ من العمل. فمثلما نفعل عند الاعتناء بالنباتات، ينبغي علينا أن نبدأ تفاعلاتنا مع الآخرين بطرح أسئلةٍ منهجيةٍ عن تأثير البيئة. حين تعتني النباتات بنفسها، فإنها تشعر بالإشارات الواردة من البيئة الخارجية وتدركها. ويؤدِّي هذا الإدراك بعد ذلك إلى تعديلٍ في شبكة إصدار الإشارات لدى النبات، ما يؤدِّي في نهاية المطاف إلى نتيجة. بالرغم من ذلك، فإننا غالبًا ما نعكس هذه العملية مع البشر الآخرين. لقد اتَّضح لي من واقع عملي أننا حين نتصرَّف انطلاقًا من عقليةٍ قائمةٍ على العيوب، فإننا ننتقل من إدراكنا لوجود نتيجةٍ سيئةٍ إلى إصدار حكمٍ سلبيٍّ بشأن الفرد. من الممكن أن نُسارع لتحديد مواطن ضعف الفرد أو تقييمه بأنه غير قادرٍ على إحراز التقدُّم عند ظهور تحديات. وكثيرًا ما نلجأ إلى مثل هذه الاستجابات التي تنطوي على أحكام، بدلًا من طَرْح الأسئلة بشأن الفرد وبيئته.[17]

تتضح هذه النزعة على نحوٍ خاصٍّ حين يُواجِه الأفراد الذين ينتمون إلى الأقليات أو الفئات المهمشة أو المجموعات غير الممثلة تحدياتٍ في التكيُّف مع بيئات محددة أو النجاح فيها.[18] فغالبًا ما يعرِّف النظام هؤلاء بأنهم «غير قادرين على النجاح.» يعجز هذا النهج القائم على العيوب عن تقييم تأثير العوامل البيئية في نتائج الأفراد على نحوٍ كافٍ. فأولئك الذين يوجَدون في موقعٍ يسمح لهم بإصدار الأحكام كثيرًا ما يفترضون أنَّ البيئة تخلو بصفة عامة من العوامل الحتمية التي تشكِّل حواجز للنجاح قد تقيِّد بالفعل من إمكانات الأفراد. علينا أن نستجيب لذلك مثلما نستجيب للنباتات ونتوقَّع أنَّ الأفراد قادرون على النمو. وعلينا بعد ذلك أن نستكشف الكثير من جوانب بيئتنا، مع تحليل مدى استجابتنا في إطار رعايتنا لهذه البيئة.

ولا ينبغي علينا، بالطبع، أن نفترض أنَّ النظام الذي نحاول أن نتقدَّم فيه نحن والآخرون معصوم من الخطأ أو أنَّ البيئة ملائمة. إنَّ الفهم الواعي لكيفية تأثير النظام في الفرد، سيثري ممارساتنا التفاعلية بدرجة كبيرة ويرتقي بها، من الدعم والإرشاد إلى القيادة. إضافةً إلى ذلك، فإنَّ فهْم تاريخ الدعم والإدماج في مؤسسةٍ ما أو الافتقار إليهما، يمكن أن يساهم في الحد من قابلية التعرض لمتلازمة المحتال. فثمة وعي متزايد بأنَّ هذه المتلازمة التي تنطوي على مشاعر الدونية بالرغم مما يبدو من نجاح، لا تنبع من عوامل

داخلية تتعلق بالسمات الشخصية فحسب، بل تنبع من عوامل خارجية أيضًا كالمنافسة والعزلة والافتقار إلى الإرشاد.[19]

إنَّ المعرفة المعززة جيدًا بشأن الموارد المتاحة، مع الوعي الكامل باحتياجات الأفراد، يتيح لنا بذل جهود مستهدفة لتوصيل الأفراد بالموارد لمساعدتهم على النجاح. والحق أنَّ العمل في الإشراف البيئي واحد من أهم الأدوار التي يمكن أن نشغلها.[20] ففي هذا الإشراف الفعال، سيدرك الداعمون ذوو العقلية القائمة على النمو حين تكون الموارد المتاحة غير كافية، ويسهِّلون توصيل الأفراد ببدائل مناسبة أو يساعدون في تغيير أحد الموارد القائمة (مثلما نفعل حين نستخدم مرشِّحات المياه لتنقية ماء الصنبور من الملوِّثات). وبإمكاننا تعزيز هذا التحوُّل في الموارد في مجتمعٍ ما من خلال تقديم التدريب لتحسين الإرشاد والدعم والقيادة. ويلعب قادة المجتمع دورًا أساسيًّا في تحديد التوقعات التي يخدمها أفراد المجتمع في مثل هذه الأدوار الداعمة؛ أي توفير بُنى للاستعداد من خلال الدعم والإرشاد وإرساء آليات المسئولية والمحاسبة ومكافأة الجهود وفقًا لذلك.

للداعمين والمرشدين والقادة أهمية كبيرة في مساعدة الأفراد على بلوغ كامل إمكانياتهم. فإذا كان لدينا شخصان يتمتعان بالكفاءة نفسها، فإنَّ الاحتمال الأرجح أن يكون النجاح من نصيب الشخص الذي يحصل على الموارد المناسبة أو الذي ينتمي إلى شبكة دعم أو شبكة تنموية ملائمة. ذلك أنَّ إمكانية تحقيق ناتج إيجابي تتوقَّف إلى حد كبير على وجود مقدمين للرعاية في شبكات قائمة يدركون أنَّ تجربتهم الشخصية وخبرتهم وحصولهم على الموارد يمكن أن يلبي الاحتياجات الفردية لأولئك الذين يدعمونهم، ويدفع أهدافهم. وتحقيق ذلك بفاعلية يستلزم ضمان استعداد الداعمين والزملاء لتقديم العناية الملائمة ثقافيًّا بناءً على أفضل الممارسات أو الابتكارات اللازمة. يمكن لقادة المجتمع وضع أهداف واضحة، مع توفير الوقت اللازم والحوافز للأفراد الذين يسعون إلى الارتقاء بمستوى رعايتهم للآخرين وخدمة المجتمعات.[21]

حين لا تتقدَّم العلاقات الداعمة على النحو الملائم، يمكن للداعمين والمرشدين والقادة أن يطلبوا المشورة من آخرين يتمتعون بالخبرة.[22] فقد تؤدي النصيحة إلى التوصية بإجراءات معينة، أو المساعدة من خلال زيادة الوعي بالموارد أو تيسير إيصال مَن يحتاجون إلى الدعم والإرشاد بالموارد المتاحة.[23] إنَّ طلب النصيحة من الخبراء بشأن رعاية النباتات ممن هم أكثر علمًا أو نجاحًا، لا يُعد ضعفًا، وعلى المنوال نفسه، علينا أن نعزِّز البيئات والمجتمعات والثقافات التي يُعَد طلبُ النصيحة فيها بشأن الطريقة المثلى لدعم الآخرين وإرشادهم موطن قوة، بل مسئولية، يتلقى التشجيع والتقدير والمكافأة.

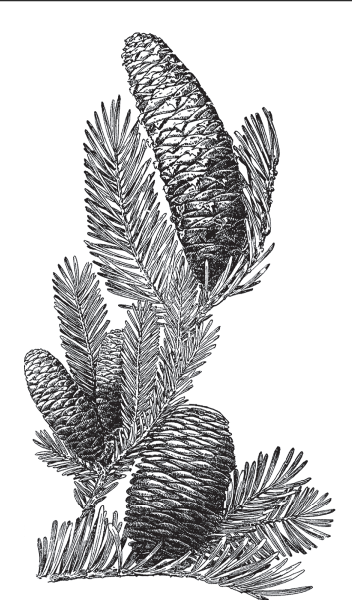
إذا حدث، مع الأسف، أن لم تَسِرْ إحدى العلاقات الداعمة على نحوٍ جيد، فإنَّ طريقة رعايتنا بالنباتات يمكن أن تقدِّم لنا دروسًا. فمثلما نفعل مع نباتٍ لا ينمو جيدًا، علينا مراعاة أنَّ مقدِّم الدعم ربما لا يلبي احتياجات الشخص المتلقي للدعم، بدلًا من استنتاج أنَّ الفرد يعاني عيوبًا مستعصية. وفي حالة عدم التوافق الثقافي على وجه الخصوص، قد تُحسِّن التدخلات المتعلقة بـ «الممارسة ذات الصلة بالثقافة» في الإرشاد والدعم، من قدرات الداعمين على مساعدة أفراد ينتمون إلى نطاق واسع من الخلفيات المتنوعة.[24] إنَّ الانخراط في مثل هذه الممارسات ذات الصلة بالثقافة يمكن أن «يساعدنا على فهم الطريقة التي نستطيع بها التركيز على ثراء الثقافة في المجتمعات المهمشة ومجتمعات الأقليات وزيادة فاعليتها»، إضافةً إلى تقييم الحواجز الهيكلية المنهجية التي تعيق العمليات.[25] من المتطلبات الأساسية اللازمة لكي يعمل الفرد بفاعلية في أحد الأدوار الداعمة ذات الصلة بالثقافة هي «التمتع بمنظور مزدوج؛ أي رؤية [الشخص المتلقي للدعم] بصفته فردًا، وبصفته أيضًا جزءًا من سياق اجتماعي أكبر.»[26] ويتضمن ذلك القدرة على اكتساب وعي كامل بأنَّ العديد من التحديات التي يواجهها العديد من الأفراد المنتمين إلى أقليات تنبع من تواريخ طويلة مترسخة من الظلم المنهج.[27] في الحالات التي لا يقدِّم فيها الداعم النفعَ لشخصٍ ما على نحوٍ جيد، وكان قد طلب النصيحة بالفعل بشأن كيفية تحسين العلاقة، فلا ينبغي أن يُعَد الاعتراف بأنَّ من غير المحتمل أن ينتهي الوضع على نحوٍ جيد فشلًا، والعمل على تيسير تحويل الفرد إلى مقدِّم رعاية أكثر ملاءمة. أما القيام بما سوى ذلك؛ أي الإصرار على الانخراط مع شخصٍ لا تتلاءم مهارات الدعم لديه مع احتياجات المتلقي للدعم، فقد يؤدي إلى فشل ازدهار ذلك الفرد فشلًا تامًّا. ينبغي أن يكون التركيز دائمًا على دعم النمو؛ ومن ثمَّ فلا ضرر ولا ضرار، بصرف النظر عن نوايا مقدِّم الرعاية.

بمقدورنا بناء ثروة من المعرفة والإلهام بشأن كيفية دعم نمو الآخرين من خلال الملاحظة والتأمُّل وتطبيق الدروس بناءً على كيفية رعايتنا للنباتات. فالطريقة التي نندمج بها مع النباتات، من حيث تبني منظور النمو مع التأكيد على الاستقصاء والإدراك، يمكن أن تساعدنا على تحويل نهجنا تجاه الأفراد الذين يتلقون الإرشاد أو الدعم، إلى التركيز على مساعدتهم من أجل بلوغ أهدافهم الشخصية والمهنية. ومثلما نفعل مع النباتات، علينا استخدام الإشارات كمرشدٍ لنا في الاعتناء بالآخرين لدعم نجاحهم وازدهارهم.

إنَّ بيئاتنا الشخصيةَ والمهنيَّةَ دائمًا ما تُعطي الأولويَّةَ لنماذج النجاح والإنجاز الفردي، وتقدِّمها على الزمالة المجتمعية والتبادل.[28] علينا أن نتحول من النُّهوج المستندة إلى العيوب

في الإرشاد والدعم، لا سيما لهؤلاء الذين ينتمون إلى مجموعاتٍ لا تحظى بالتمثيل الجيد في بيئتهم التعليمية أو المهنية، إلى ممارسات النمو المستند إلى الدعم. يتمتَّع هذا النموذج القائم على النمو بإمكانيةٍ عظيمةٍ لتحسين النواتج للأشخاص القادمين من مجموعةٍ كبيرةٍ من الخلفيات والخصائص السكانية. فوجود الأفراد وازدهارهم في بيئتنا لا يعزِّز من نمونا فحسب، بل إنَّ له تأثيرًا إيجابيًّا أيضًا على المجتمعات التي نعيش ونعمل ونتعلم فيها.

ثمة الكثير ممَّا يمكن أن نتعلمه من كيفية رعاية النباتات بعضها بعضًا. فالطريقة التي تقوم بها النباتات الراعية بتقديم بعض المزايا للنباتات اليافعة التي تقوم ب «إرشادها»، والمزايا التبادلية التي تحصل عليها النباتات الراعية فيما يتعلَّق بتحسين النمو والتكاثر، تُبيِّن لنا كيفية تقديم التعاون على المنافسة. إنَّ هذه النباتات الراعية، إلى جانب أنظمة الأخوات الثلاث، تذكِّرنا بأننا نزدهر على نحوٍ أفضل حين نعمل معًا.



«إنَّ قدرتنا على اتخاذ قراراتٍ حكيمةٍ وسليمةٍ ورغبتنا في ذلك ليست متأصلةً في جيناتنا، بل هي مهارةٌ مكتسَبة، ويمكن للنباتات أن تكون معلِّمًا رائعًا لنا.»

مونيكا جاجليانو
«وهكذا تكلَّم النبات»

خاتمة

البستنة

حين كان ابني طفلًا صغيرًا، زرعنا شجرةً خاصةً «به» كي يتسنَّى له أن يشاهدها وهي تنمو، ويتعرف على مراحل نموها الفصلية والسنوية بالتوازي مع مراحل النمو التي يمر بها. اخترنا له شجرة تنوب أبيض وهي دائمة الخضرة. وبالرغم من أن الشجرة لا تنفض عنها أوراقًا ملوَّنة في فصل الخريف، فقد كانت تتغير دائمًا من جوانب كانت أسرتنا تتأملها. ففي السنة الأولى كانت تنمو بعيدًا عن الوسط بعض الشيء وباتجاه الشرق؛ لذا ربطنا حولها خيطًا بكل حرص وثبتناه بعصًا باتجاه الغرب مع شدِّه برفق لتشجيعها على النمو على نحوٍ أكثر استقامة. وبالرغم من أنَّ ابني الصغير لم يفهم ذلك تمامًا؛ فقد أخبرناه بأنَّ هذا النوع من التوجيه اللطيف غالبًا ما يكون لازمًا في فترة الشباب. وفي حالة الأشجار، يكون هذا الإجراء أكثر فاعلية على الإطلاق في مرحلة الشتلات؛ إذ تكون الجذوع لا تزال مرنة.

وعلى مدار السنوات، بينما نحن نراقب شجرته ونعتني بها، شرحتُ أنَّ النفَس الذي يخرج منه؛ أي ثاني أكسيد الكربون، يكون بمثابة هدية لها. أوضحتُ له أنَّ الشجرة ستستهلك هذه المادة وتحوِّلها إلى سكريات تستطيع أن تبني بها الأوراق، وحتى الخشب؛ كي يبقى على الدوام جزءًا لا يتجزأ من شجرته. نَمَت الشجرة حتى مرحلة «المراهقة»، وظللنا نرعاها بحب ونوفِّر لها أيَّ موارد ورعاية إضافية كانت تحتاج إليها. بدأ نموها السنوي يزداد مع ازدياد نمو ابني الذي ظهر كاحلاه فجأة من حافة السراويل التي كانت ملائمة لحجمه تمامًا قبل شهر. كانت شجرته لا تزال تنمو إلى مرحلة الرشد، بينما كان

هو قد وصل إلى سن البلوغ القانوني. كان هو راعيها، وكانت هي معلِّمته على مدارِ ما يقرب من عَقدين من الزمان، لكننا نعرف أنه لا يزال هناك المزيد من الأشياء التي يمكن أن تعلِّمها الشجرة له ولنا.

لقد قدَّمت الفصول السابقة بعضًا من الدروس العديدة التي يمكن تعلُّمها من النباتات التي تشكِّل جزءًا أساسيًّا من العالم الطبيعي، وإن كان يُغفَل في كثير من الأحيان. والقطبية، يمكن أن تنمو النباتات في أي نوع من البيئات تقريبًا، من المناخات الاستوائية والمدارية اللطيفة للغاية، إلى البيئات التي تبدو أقل تفضيلًا، مثل الصحاري والمناطق الألبية. وهذا التنوُّع في الموائل الطبيعية بمثابة شاهد على قدرات النباتات المذهلة على إدراكِ ما يدور حولها، والتكيُّف عليه، والتغيير من نفسها ومن البيئات التي توجد فيها.

تذكَّر أنه من بداية حياة النبات، لا تتعامل الفسيلة مع ما تجده في مكان محدَّد فحسب. فلا بد أن تتعلم الفسيلة كيفية التأقلم في الموقع البيئي أو البيئة التي تنمو فيها. من الناحية البيئية، يمثل الموقع البيئي العلاقة بين الكائن الحي وبين موئله، بما في ذلك الكائنات الحية الأخرى التي توجد فيه. غير أن الموقع البيئي ليس ثابتًا؛ فمن خلال عمليةٍ تُسمَّى «بناء الموقع البيئي»، يمكن للكائنات الحية تعديل مواقعها البيئية ومواقع غيرها من خلال النشاطات والخيارات التي تقوم بها.[1] وهذه العملية المتمثلة في تغيير بيئةٍ ما لنفعٍ ذاتيٍّ بصفةٍ أساسيةٍ أو لمنفعة الآخرين — أو للإضرار بهم في بعض الأحيان — هو سلوك تحويلي للنبات.

تستمر النباتات في التعلُّم والتأقلم خلال دورة حياتها، ولا تفتأ تعقد مفاضلات تتعلَّق بميزانية الطاقة. فمكافحة الضرر الناتج عن إحدى آكلات العشب، على سبيل المثال، يمكن أن يقلِّل الطاقة المتاحة لأنشطةٍ أخرى مثل مدِّ الأوراق أو بناء فروع جديدة. ولا بد للنبات أن يقرِّر ما إذا كان سيخصِّص الموارد للنمو أم لطرد أعدائه. فنجد أنَّ أوراق الطماطم التي تتعرَّض لهجوم الدودة ذات القرون تستخدم الطاقة في إنتاج مركَّبات تثبِّط نمو الدودة ذات القرون وتكاثرها، لكنها لا تمتلك بعد ذلك سوى طاقةٍ محدودةٍ تخصِّصها للنمو والتكاثر. يمكن أيضًا تعديل وضبط استجابات النبات وفقًا للإشارات المرتبطة بوضع الطاقة. فإذا قلَّل النبات من قدرة البناء الضوئي بسبب ظروف انخفاض الضوء، فقد يواجه خطرًا أكبر بالافتراس لأنه لا يمتلك طاقةً كافيةً يخصِّصها للدفاع.[2] إنَّ الدراسات من هذا النوع هي التي عرفنا منها أنَّ النباتات تصدِر استجاباتٍ معقَّدةً لتعرُّضها للعديد من الإشارات بصورةٍ متزامنةٍ أو متتالية.

يمتدُّ هذا النوع من الشعور والاستجابة والتكيُّف على مدار دورة حياة النبات، سواء أكان ذلك لتعزيز إمكانية جمع الضوء وتحويله إلى سكريات، أم لتمديد الجذور للبحث عن المغذيات. إنَّ النباتات تتمتَّع بقدراتٍ فعالةٍ على تعديل بيئتها لدعم نموها ونمو غيرها من الكائنات التي تتشارك معها في المكان والزمان نفسيهما والأجيال التالية أيضًا.

تُحدِّد النباتاتُ متى يكون أفضل مصدرٍ لإنفاق الطاقة هو التنافس أو التعاون أو إنهاء دورة الحياة (مثلما يحدث في حالة تسريع الإزهار حين تعيش في بيئةٍ ظليلةٍ لفترةٍ طويلة). وتعرف النباتات حين لا تمتلك البيئة المواردَ اللازمة لدعم الاستيطان الطويل الأجل والنمو الناجح، وتعرف أيضًا كيف تحوِّلها من خلال سلوكياتها الخاصة أو من خلال التعاون أو التبادل مع كائناتٍ أخرى. فالنباتات الرائدة، التي تزدهر في البيئات المضطربة، يمكنها أن تحوِّل نظامًا بيئيًّا حتى تسمح لنباتاتٍ أخرى بالاستقرار فيه. إنها تعمل بنجاحٍ على إدارة التغيير وتعزيز الظروف التي تفيد الموجة الثانية من النباتات.

لا تنبثق الدروس من سلوكيات النباتات فحسب، بل من علاقتنا معها أيضًا. فحين نعمل، نحن البشر، كرُعاةٍ للنباتات، نتبنَّى منظورًا قائمًا على النمو. فبينما كنت أنا وأسرتي نعتني بشجرة التنوب، كنا نراقبها عن كثب لنتلقى الإشارات ونطرح الأسئلة بشأن الموارد التي تحتاج إليها كي تزدهر. فنحن في انسجام مع إشاراتها كي نستطيع أن نقرِّر ما إذا كانت البيئة تحدُّ من ازدهارها أم لا.

إنَّ النباتات تقدِّم لنا دروسًا بشأن كيفية بناء حياة عفية مدفوعة بالإحساس. فهي تستخدم أدوات الاستشعار لديها لمتابعةِ ما يجري في البيئة حولها عن كثب؛ ومن ثمَّ استخدام هذه المعلومات لاتخاذ قراراتٍ حكيمةٍ بشأن كيفية تنظيم ميزانيتها من الطاقة والحصول على الموارد والتفاعل على نحوٍ إيجابيٍّ مع جيرانها. ونحن نستطيع تطبيق هذه الدروس على حياتنا، وعلى ممارساتنا للقيادة والإشراف، وعلى علاقاتنا التبادلية بصفتنا جزءًا من مجتمعٍ أكبر. فلتتخيل أنَّ هذه الدروسَ المستقاةَ من النباتات تقدِّم لنا طريقةً بديلةً للنظر إلى العالم ووجودنا فيه، وأنها تقدِّم لبعضنا طريقةً شديدة الاختلاف في الإرشاد والتدريب والقيادة.

إنَّ العديد من الأفراد، ومنهم المرشدون والقادة، يتخذون تفاعلهم مع الآخرين طريقة لتيسير تعريف الذات مقابل العمل انطلاقًا من التمثيل الشخصي؛ فهم يبحثون «عن» التأييد، لا «انطلاقًا من» التأييد.[3] فغالبًا ما يسعى هؤلاء الأفراد لإجابة الأسئلة المهمة

عن هُويَّتهم، وعن المكان الذي ينبغي أن يكونوا فيه، وعن الأهداف والرؤى التي ينبغي عليهم السعي وراءها. إنهم يحاولون اكتسابَ شعورٍ بالغاية والحصول على تأييدٍ خارجي — أحدهما أو كليهما — في سياق الحياة، أو الإرشاد، أو القيادة، بدلًا من التفاعل انطلاقًا من الاقتناع بما يمتلكونه من إجاباتٍ بالفعل على أسئلة الهُويَّة والمكان والرؤى. إنَّهم يحتاجون إلى معرفة ماهيتهم وما يُقدِّمونه قبل أن يتمكَّنُوا من إرشاد الآخرين وتدريبهم وقيادتهم بنجاح.

عند التفاعل مع مجتمعٍ ما، غالبًا ما يتحلَّى المواطنون والمرشدون والقادة بمنظورٍ يركِّز على الذات وعلى التأييد الذاتي بدلًا من السعي إلى التفاعل على نحوٍ تبادليٍّ مع الآخرين. يتجلَّى الإرشاد والقيادة المرتكزان على الذات في صورةٍ أُسمِّيها التعلُّم بالطبع؛ أي تدريب شخصٍ آخر على اتباع السلوك الخاص بمدرِّبه، أو اتباع المعايير العامة لمجموعةٍ ما.[4] في هذا النوع من التفاعل، يركِّز المرشدون والقادة على التأييد الخارجي، ويعزِّزون التطبُّع الثقافي؛ فهم يسعَوْن إلى نيل التأييد للخيارات التي اتخذوها، بما في ذلك المسارات التي اجتازوها والأهداف الشخصية التي سعَوْا وراءها.[5] وبالرغم من أنَّ هذا النمط من الإرشاد والقيادة واسعُ الانتشار ويمكن أن يُحقِّق نجاحاتٍ ملحوظة، فإنَّ النطاق والتأثير الناتجَين عن التفاعُل بحثًا عن غايةٍ (بدلًا من الانطلاق من غايةٍ محددةٍ بالفعل) محدودان. إنه سعيٌ شخصيٌّ داخليٌّ عن الغاية في حقيقة الأمر، لا رؤية أوسع لها.

إنَّ وجود وجهات نظر وعمليات وأهدافٍ بديلةٍ أمرٌ ضروري. فعلينا أن نتخيَّل ترسيخ «رؤية للغاية» لما أُسمِّيه النمط المتكيف بيئيًّا في الحياة والإرشاد والقيادة، ونعمل على تحقيقها. وعلى غرار النباتات، ينبغي أن نتعلَّم من خبراتنا، ونُغيِّر من سلوكياتنا غير النافعة. وتبدأ هذه العملية بالتقييم الناقد للذات، والتأمُّل الذاتي، والالتزام بالعمل انطلاقًا من منظور معرفة الإجابات المتعلقة بالهُويَّة والمكان والرؤى. إذا فعلت ذلك، فحينها فقط ستتمكَّن من العيش والإرشاد والقيادة بفاعلية. وللتأمُّل الذاتي أهميةٌ محوريةٌ للعديد من الأسباب؛ فهو يمكِّنك من أن تُصبح واعيًا بمواطن قوَّتك وضعفك، إضافةً إلى توضيح أهدافِك وطموحاتِك الشخصية. ومن خلال هذه المعرفة، تُصبح في موضعٍ يُؤهِّلك لتحديد الموطن البيئي الملائم لاستخدام نقاط قوَّتك، وإيجاد فرصٍ ملائمةٍ لتنمية نقاط ضعفك. إنَّ المرشدين والقادة التقدُّميِّين هم مَن سيُعزِّزون ممارسةَ حماية الوقت للتأمُّل الذاتيِّ النشِط ويُطبِّقونها.[6] ومن هذا المستوى من الوعي، ينشأ شعورٌ بالذات، شعورٌ بأنك تستطيع

الانتقال إلى موقعٍ يوفِّر لك الموئل الملائم أو فرصة لـ «العمل» أو «النمو» أو تحقيق رؤيةٍ فرديةٍ للغاية؛ أي هدف محدد بوضوح.

تمتلك النباتات الكثير من أدوات الاستشعار التي تُمكِّنها من مراقبةِ ما يجري حولها وتقييم توافر الموارد. ومن ثمَّ تستطيع ضَبْط نموِّها وتطوُّرها بما يتلاءم مع البيئة الخارجية، وذلك من خلال مرونةِ النمط الظاهري التي تمكِّنها من تعديل استجاباتها. تتخذ النباتات قراراتٍ استراتيجية بشأن كيفية تخصيص مواردها، ويمكنها أيضًا أن تُبادر بسلوكياتٍ يمكنها تغيير البيئة من خلال تغيير مستوى توافُر الموارد أو زيادتها.

في المنظمات البشرية، يؤدِّي الأشخاص الذين يعملون بمثابة أجهزة استشعار فعالة؛ دورًا أساسيًّا في تحديد الجوانب التي تحتاج إلى تغيير، وتعزيز السلوكيات البناءة وتيسير القرارات الاستراتيجية. فهؤلاء الأفراد يستطيعون التعرُّف سريعًا على التغيرات في العوامل البيئية (مثل العوامل الاقتصادية أو التكنولوجية أو التنافسية)، أو التغيرات في العوامل الاجتماعية الثقافية (مثل المواقف الاجتماعية، أو العقيدة السياسية)، كما أنهم يستطيعون تحديد النقاط التي يمكن التدخُّل فيها ومساعدة الآخرين على تنفيذ هذه التدخلات.[7]

تقيِّم النباتات الظروف التي ينبغي عليها أن تتحلى فيها بالسلوك التنافسي، وتلك التي يكون فيها الالتزام بالتعاون هو التصرُّف الأكثر حكمة. ولاتخاذ هذا النوع من القرارات، فإنها توازِن تكلفة الطاقة مقابل الفائدة التي تحصل عليها من تحسين النمو والقدرة على البقاء. على سبيل المثال، بالرغم من أنَّ النبات يسعى عمومًا إلى أن يُصبح أطول من جاره القابع بالقرب منه لتحسين قدرته في الحصول على ضوء الشمس، إذا كان هذا النبات المجاور له أطول كثيرًا بالفعل، ومن المحتمل أن يضيع النوع الذي ينتمي إليه، فسيكبح النبات من غريزته التنافسية. معنى هذا أنَّ النباتات لا تتنافس إلا حين تكون المنافسة ضروريةً لتحسين قدرتها على دعم نموِّها وتكاثرها وتتمتَّع باحتمالية جيدة للنجاح. وفور أن تجلب المنافسة النتائج اللازمة، تتوقَّف النباتات عن المنافسة وتحوِّل طاقتها إلى العيش. فالنباتات تتنافس من أجل البقاء لا نشوة النصر.

سيستفيد البشر إذا فهموا أنَّ السعي وراء المنافسة لا يكون نبيلًا إلا إذا كانت هذه المنافسة لازمة للبقاء والازدهار. علاوةً على ذلك، فمن أعظم الدروس التي يمكن أن نتعلَّمها من النباتات هي قوة العمل المشترك. علينا أن نتخلَّى عن اعتمادِنا المفرط على نماذج النجاح الفرداني، وأن نفهم بدلًا من ذلك أنَّ استجاباتنا للبيئة، سواء أكانت مكتبًا أم جامعة أم مجتمعًا سكنيًّا، عادةً ما تتحسَّن عند إصدارها على نحوٍ جماعي وتعاوني.

قبل البَدْء بالاستثمار في علاقةٍ تعاونية، تزن النباتات التكلفة مقابل الفائدة. فهي تقيِّم ما إذا كانت مشاركة تكلفة الاستجابة للإشارات البيئية وإدراك الاحتياجات سيؤتي بثماره فيما يتعلَّق بزيادة البقاء والتكاثر. ويتأثَّر القرار بشأن التنافس أو التعاون بوجود أقارب؛ فقد أوضح عدد من الدراسات أنَّ احتمالية التعاون تزداد حين تكون النباتات المجاورة مرتبطةٌ بقرابة وثيقة. إنَّ العديد من الكائنات الحية، بما فيها النباتات، تفهم أنَّ تقليل المنافسة أو زيادة التعاون في وجود الأقارب له آثار بارزة على بقاء النوع وازدهاره ككل. إنَّ تعريف القرابة لدى البشر محدَّد بعض الشيء. فإلى جانب أقاربنا البيولوجيين، ننزع إلى تضمين مَن نعاملهم على أنهم يتشاركون معنا القيم مثلما يتشاركها معنا أقاربنا الفعليون، وذلك بناءً على تعريفات مقيدة إلى حدٍّ ما مثل تشارك الإثنية أو العِرق أو النوع الاجتماعي أو الحالة الاجتماعية الاقتصادية. ويمس هذا المنظور مَن نرتبط معهم بصداقات وثيقة، ومَن نعيش معهم في الأحياء والمجتمع، ومَن نتفاعل معهم بانتظامٍ في السياقات الاجتماعية. إنَّ البشر يتفاعلون مع مَن ينتمون إلى خلفيات مشابهة على نحوٍ أراه شكلًا من أشكال القرابة، لكنَّ هذا المفهوم يُعرف على نطاق أوسع باسم الهوموفوليا أو الحب للمماثل.[8] أعتقد أنَّ الوقت قد حان لإعادة النظر في فكرة القرابة. ينبغي أن يكون أحد الأهداف الأساسية لمَن هو في موقعٍ قياديٍّ أو إرشاديٍّ أن يعزِّز شعورًا بالقرابة بين جميع أفراد مجتمعه. فالقيام بهذا يُسهِّل القرارات الاستراتيجية بشأن تخصيص الطاقة التي تفيد الجميع لا أفرادًا محدَّدين. وتعميم هذا المفهوم على نطاقٍ أوسع سيفيدنا، نحن البشرَ، جيدًا وسيكون مفيدًا لصحة كوكبنا وبقائه أيضًا إذا وسَّعنا فهمنا للقرابة وتطبيقنا لها ليشمل جميع الناس حول العالم.

إنَّ النباتات التي تعيش في مجتمعاتٍ تتضمَّن أنواعًا عديدةً مختلفةً غالبًا ما تزدهر على نحوٍ أفضل من تلك التي تنمو في مجتمعات أقل تنوعًا، وتكون أكثر إنتاجية منها. فكل نوعٍ من الأنواع يشغل موقعًا بيئيًّا محدَّدًا يتميَّز بشكلٍ ونمطٍ وجوديٍّ خاص، وبالتعاون معًا، يمكن لهذه الأنواع أن تستفيدَ من الضوء والمغذيات والموارد الأخرى على نحوٍ أكثر كفاءة.

في البيئات البشرية، غالبًا ما نحتفي بمسارٍ واحدٍ للنجاح في دورٍ محدَّد، ونتردد في طرح أسئلةٍ على الأفراد بشأن طموحاتهم الخاصة ورؤيتهم للتقدُّم الشخصي أو المهني. عندما نبدأ في تقبُّل تنوع الأفراد الذين قد يأتون إلى هذه المواقع، ونتقبل الخبرات الفريدة والمواهب والمهارات التي يتمتَّع بها كل فرد، حينها فقط سنستشعر تمامًا تلك الثروة

الفريدة من «الزهور»، التي يقدِّمها كل فردٍ عند تشجيعِه على الإزهار. وبالرغم من أنَّ لكلٍّ منَّا دورًا في إعلاءِ قيم المجتمعات المتنوعة وتعزيزها، فإنَّ المسئولية تبدأ بمَن يشغلون المناصب العليا. ومن أجل تيسير النُّهوج التي تتسم بالإنصاف، ينبغي على القادة والمرشدين تعزيز الكفاءة العابرة للثقافات، والممارسات الواعية بتنوُّع الثقافات.[9] ولكي يتمكنوا من تحقيق هذا، عليهم أن يتمتعوا هم أنفسهم بمستوًى عالٍ من الكفاءة العابرة للثقافات.[10] ولكن كيف نمضي في زيادة الفهم العابر للثقافات وتعزيز ثقافة شاملة للنجاح؟ من الواضح أنَّ البيئات التقدمية التي تخدم نطاقًا متنوعًا من الأفراد عادةً ما يكون أعضاء مجتمعها وقادتها يولون اهتمامًا خاصًّا للاعتناء بالبيئة؛ وهذا يتضمن تقييم المناخ وتعريف الحدود ووضع خطط للتحول. وتنطبق أهمية إدراك ورصد عملية خلق بيئات داعمة منصفة وصيانتها على كلٍّ من المؤسسات المجتمعية والشركات والمؤسسات الأكاديمية بالدرجة نفسها.[11]

لتعزيز التنوُّع والإنصاف، سيكون من الحكمة أن يتذكَّر القادة الدروسَ المستقاة من الزراعة التعددية؛ أي زراعة أنواع مختلفة من النباتات معًا. إنَّ نظام الأخوات الثلاث يوضِّح لنا كيف يستفيد المجتمع حين يتبادل الأفراد تقديم قدراتهم الفريدة ومواطن قوَّتهم وسلوكياتهم. فالبشر يعتمدون بعضهم على بعض بطرقٍ غالبًا ما نتجاهلها. فإذا أردنا تحقيق نتائج أكثر إنصافًا، فسوف نحسن صنعًا إذا أدركنا أنَّ الجميع يستفيدون حين نصقل مواهب الأشخاص المتنوعة ونعزز التآزر والتعاون فيما بينهم.

وبالرغم من وجود بعض المخاطر بلا شك عند تبنِّي طرق بديلة للنجاح، فسوف ندرك، إذا تأملنا الدروس التي تقدِّمها لنا النباتات، أنَّ المخاطر قد تكون أكبر عند تجاهل هذه الطرق. إنَّ النباتات التي تعجز عن تحقيق هدفها الفطري، كأن يعجز نبات حولي مثلًا عن الإزهار في موسمه الوحيد في الوجود، يخاطر بضياع فرصته في التكاثر وترك نسل للأجيال المستقبلية. وصحيح أنَّ فردًا واحدًا هو الذي يعاني ضياع هذه الفرصة في مثل هذه الحالة، لكن غيره من النباتات التي تسكن المجتمع نفسه، قد يسوء حالها أيضًا لعدم حصولها على مساهمة هذا النبات في المجتمع.

إنَّ هوسنا بالاحتفاء بالمسارات المُجرَّبة والصحيحة ربما يكلفنا كثيرًا حين نرفض المجازفة برؤية «الزهور» الفريدة التي يمكن لكل فرد أن يقدِّمها. فمجتمعاتنا تُثرى بالابتكار وأنماط التفكير الجديدة والمساهمات الفريدة. بالرغم من ذلك، فإنَّ الترحيب بمثل هذه العروض المقدمة يستلزم انفتاحًا على الإبداع والاختراع والنُّهوج الريادية،

لا سيما في البيئات المهنية. علينا ألا نتوقَّف عند تشجيع مثل هذه الريادة، بل علينا أن نقدِّرها ونكافئ عليها.

إنَّ الرواد، سواء من البشر أو النباتات، لا بد أن يتمتعوا بالمرونة وبالقدرة على التحمل. فالنباتات لديها القدرة على التعافي من الكوارث الطبيعية مثل الفيضانات والحرائق والأعاصير، وكذلك الكوارث التي يتسبَّب فيها الإنسان مثل كارثة الإشعاع في تشرنوبل. بالرغم من ذلك، علينا أن نتساءل حين نحتفي بالتحمل عما إذا كانت بُنى مجتمعاتنا وممارساتها ونسيجها نفسه، يستلزم مزيدًا من التحمل والمثابرة من الأقليات والمجموعات المهمشة مقارنة بالآخرين.[12] من الضروري أن نفهم التاريخ البيئي للفرد والكيفية التي قد يؤثِّر بها على أدائه وإمكاناته للنمو والتحوُّل. إنَّ مؤسساتنا لها تاريخٌ طويلٌ من استبعاد الأشخاص المنتمين إلى مجموعات الأقليات والمجموعات المهمشة، مع تعزيز الأنشطة الموجهة إلى المهام بدلًا من تعزيز الأنشطة الموجهة إلى الإبداع. والحفاظ على التحمل والبقاء في ظل هذه الظروف يستلزم الكثير من الطاقة؛ ومن ثمَّ فإنَّ المرشدين والقادة مسئولون عن إزالة هذه الحواجز الهيكلية التي تؤدي إلى مثل هذه المطالب غير المتكافئة. فهذه الحواجز تؤثِّر، على نحوٍ متباين، في قدرة الأفراد على النجاح. وبالرغم من أنَّ التحمل صفة يجدر بنا جميعًا أن نسعى إلى التحلي بها، فلا بد أيضًا أن ننتبه جيدًا إلى إنصاف الأنظمة التي تشملنا، وأن ندقِّق بحرصٍ فيمَن ينبغي عليهم أن يتحلوا بالتحمل والقوة. إنَّ القادة الذين يرغبون في بناء بيئةٍ توفِّر الدعم لنطاقٍ كبيرٍ من الأفراد، سيُدركون بقوة الكيفية التي يتفاعل بها كل فرد مع تلك البيئة، وسيشجعون السلوكيات التحوُّلية التي تعزِّز التغيير حيث يلزم.

سوف نحسن صنعًا خلال تفاعلاتنا مع الآخرين إذا تأملنا في كيفية اعتنائنا بالنباتات. في معظم الأحيان نبدأ بتوقُّع أنَّ النبات لديه القدرة على النمو والازدهار. وحين نلاحظ أنَّ النبات لا ينمو جيدًا، نطرح الأسئلة بشأن صحة البيئة (هل يحصل النبات على ما يكفي من الضوء، أم على قدرٍ مبالغ منه؟) أو بشأن قدراتنا كرعاة (ما الخطأ الذي أفعله؟). فنحن لا نعتقد على الفور أنَّ النبات لديه عيوب.

من المؤسف أننا حين نستجيب لشخصٍ يواجه صعوبةً ما، غالبًا ما نبدأ بطرح الأسئلة بشأن الفرد والسبب في عدم تواؤمه مع هذه البيئة. فمثل هذه الاستجابة تستند إلى افتراض أنَّ العيب يكمن في الشخص لا البيئة، وذلك في تناقضٍ صارخ مع الحقيقة التي نعرفها من النباتات. يمكن للنباتات التي تتطابق في كل شيء عدا البيئة الخارجية

أن تحقِّق نتائج شديدة الاختلاف بناءً على هذه البيئة، مثل ما إذا كانت تنمو في الظلام أو الضوء. ولكي نقيِّم قدرة شخصٍ ما على النجاح، يجب أن نقيِّم كلًّا من التأثيرات الإيجابية والسلبية في بيئته. وحينها، سنصبح على وعي أكبر بالتعديلات أو التغييرات اللازمة لمساعدة مَن يواجهون صعوبات.

يمكننا أيضًا أن نستفيد جيدًا من الدروس التي نتعلَّمها من النباتات عند تخطيط التغيرات البيئية الطويلة الأمد، كما يحدث عند التفكير في الأدوار القيادية. ربما نكون بحاجة إلى رواد ليكونوا هم الطليعة في طابور متصاعد من وكلاء التغيير. إنَّ هؤلاء الأفراد الرياديين يوفِّرون المجال ويُحسِّنون الوصول إلى الموارد من أجل الموجات التالية من الرواد الذين يتمتعون بمواطن قوة مختلفة في القيادة. ولكننا في غالب الأحيان نستخدم نهج المقاس الواحد في القيادة بدلًا من أن نفهم أنَّ وجود قادة يتسمون بنقاط قوة محدَّدة أمرٌ لازم في مختلف الأوقات، لا سيما حين يحين وقت التغيير الثقافي. ومن التحديات التي نواجهها أننا غالبًا ما نعطي الأولوية للوجود الطويل المدى على النتائج الطويلة المدى. فقد يكون وجود القادة الرواد في المؤسسات قصير الأجل. ولكن إذا نجحوا في فتح المجالات وترسيخ عمليات جديدة وتحسين الوصول إلى الموارد، فسوف يمهِّد ذلك الطريق إلى ظهور قادة ربما يكونون أقل ابتكارًا بدرجة طفيفة، لكنهم يتولون القيادة فترة أطول. وهؤلاء القادة الطويلو الأمد، والذين يأتون في الموجة التالية من سكان النظام البيئي والموجات التي تليها، يمكنهم حينئذٍ البدء في العمل القيِّم المتمثِّل في وضع نُظُم توفِّر موارد مستقرة ومتجددة لدعم المجتمع.

يُعد هذا النوع من التخطيط الاستباقي للتعاقب مهمًّا للغاية، لا سيما في أوقات الوفرة حين يبدو كل شيء على ما يرام. إنَّ التخطيط يحين مبكرًا ويحدث كثيرًا. وتحقِّق النباتات هذا من خلال تتبُّع مستوى نجاحها على المستوى الفردي والمجتمعي، مع مراقبة ما يلزم من الطاقة لتحقيق الأهداف المهمة، مثل التكاثر. وبهذا، تتَّبع النباتات خطة تسمح لها بالتجدُّد وتخصيص الطاقة على نحوٍ استراتيجي.

يحتاج البشر أيضًا إلى العمل في اللحظة الراهنة والتخطيط مسبقًا للتعاقب. ويستلزم التخطيط الاستراتيجي من القادة أن يؤدوا دورهم القيادي على النحو الملائم في الوقت الراهن، مع توقُّع الاحتياجات المستقبلية والمراحل الانتقالية في القيادة. فينبغي على القادة أن يتصرفوا بسرعة وهمَّة، وذلك بتحديد خلفائهم قبل أن يحين وقت الحاجة إليهم كي

يتسنَّى لهم الاستعداد للانتقال. من المؤسف أنَّ القادة غالبًا ما يُعيَّنون أو يُرَقون للحفاظ على الوضع الراهن. وإلى أن نبدأ في تعزيز القيادة المدفوعة بالحس، لن نرى الأفراد أو المجتمعات تبلغ كامل إمكاناتها.

ينبغي على القادة أن يؤدُّوا أدوار «أجهزة الاستشعار» في بيئاتهم، ليكونوا بمثابة مشرفين بيئيين؛ أي ينبغي عليهم أن يكونوا بمثابة البستانيين لا النواطير.[13] في هذا النوع من القيادة التقدمية، يوضِّح القادة والمرشدون للآخرين كيفية إيجاد موقعهم البيئي، وكيفية تقييم تأثير البيئة على النمو والسلوك، وكيفية التعامل مع المنافسة والاستجابة لها، وكيفية تخصيص الطاقة إلى المساعي المهمة، وكيفية تحديد تأثير التاريخ البيئي على أعضاء المجتمع. وبدلًا من تدريس مهارات القيادة التكتيكية إلى خلفائهم، يجب على الحكماء من القادة أن يُدرِّسوا فلسفات القيادة ورؤيتها. إنَّ هذا النوع من الرؤية ضروريٌّ من أجل التكيُّف على الظروف المتغيرة، كما أنه يمكن أن يتيح للقادة رؤية أوجه التعاون والمزايا المحتملة في المجتمعات المتنوعة. تتناقض هذه الطريقة مع نهج النواطير التقليدي الذي يحدِّد فيه القادة مَن يتمكَّن من الوصول وفقًا لتصورات وافتراضات بشأن مَن يستطيع العمل والازدهار في سياقٍ محدَّد.[14] أما هذا النوع المميز من القيادة، فهو مدفوع بالإحساس وتكيُّفي على المستوى البيئي؛ إذ يراعي الأفرادَ مع مراعاته للأنظمة البيئية التي يوجد فيها هؤلاء الأفراد في الوقت ذاته. إنني أسمي هذا النوع من القيادة بقيادةِ البستنة، وذلك تقديرًا لما نعرفه عن الظروف التي تحتاج إليها النباتات كي تزدهر بنجاح.

لقد تعلمت من النباتات كثيرًا من الدروس على مدار العقود العديدة الماضية. وأنا في غاية الامتنان لذلك. وأتوق أيضًا إلى وقتٍ يعيش فيه الجميع حياةً مدفوعةً بالإحساس. وها هي ذي النباتات توضِّح لنا كيفية فعل ذلك. كلُّ ما علينا فعله أن ننتبه فحسب.

توقَّف برهةً وانظر فيما حولك. لا بد أنَّ ثمة نباتًا ما على مرمى البصر. وبناءً على الوقت من العام أو موقعك في العالم، ربما ترى بذرة تنبت، أو أزهارًا تتفتح، أو أوراق الخريف ذات الألوان الزاهية على خلفية السماء. إنَّ جميع هذه السلوكيات — الإنبات وتفتح الأزهار وتغيُّر الألوان — توضِّح لنا أنَّ النباتات في تناغم مع نفسها ومع بيئاتها؛ إذ تتأقلم وتدعم غيرها من أماكنها الثابتة رغم ديناميكيتها في العالم.

ملاحظات

مقدمة

(1) *Epigraph:* Robin Wall Kimmerer, *Braiding Sweetgrass: Indigenous Wisdom, Scientific Knowledge and the Teachings of Plants* (Minneapolis, MN: Milkweed Editions, 2013), 9.

The discussion here focuses on plants that reproduce via seeds. However, some plants, for example, ferns and some mosses, reproduce via spores, whereas others reproduce asexually or clonally through vegetative regeneration from stems, rhizomes (underground stems), bulbs, or tubers; Simon Lei, “Benefits and Costs of Vegetative and Sexual Reproduction in Perennial Plants: A Review of Literature,” *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 42 (2010): 9–14.

(2) James H. Wandersee and Elisabeth E. Schussler, “Preventing Plant Blindness,” *American Biology Teacher* 61, no. 2 (1999): 82–86; James H. Wandersee and Elisabeth E. Schussler, “Toward a Theory of Plant Blindness,” *Plant Science Bulletin* 17 (2001): 2–9.

(3) Sami Schalk, “Metaphorically Speaking: Ableist Metaphors in Feminist Writing,” *Disability Studies Quarterly 33*, no. 4 (2013): 3874.

(4) Mung Balding and Kathryn J. H. Williams, “Plant Blindness and the Implications for Plant Conservation,” *Conservation Biology 30* (2016): 1192.

(5) Balding and Williams, "Plant Blindness"; Caitlin McDonough MacKenzie, Sara Kuebbing, Rebecca S. Barak, et al., "We Do Not Want to 'Cure Plant Blindness' We Want to Grow Plant Love," *Plants, People, Planet 1*, no. 3 (2019): 139–141. Balding and Williams describe "plant blindness" as a "bias" against plants. Their discussion inspired my use of the term "plant bias," as well as my suggestion that decreasing plant bias should lead to increased plant awareness.

(6) This bending phenomenon, known as phototropism, was noted in Darwin's treatise on plants: Charles Darwin, *The Power of Movement in Plants* (London: John Murray, 1880), 449. It is controlled by the hormone auxin and has been studied experimentally for a long time, including relatively early work by Briggs and colleagues: Winslow R. Briggs, Richard D. Tocher, and James F. Wilson, "Phototropic Auxin Redistribution in Corn Coleoptiles," *Science 126*, no. 3266 (1957): 210–212.

(7) Edward J. Primka and William K. Smith, "Synchrony in Fall Leaf Drop: Chlorophyll Degradation, Color Change, and Abscission Layer Formation in Three Temperate Deciduous Tree Species," *American Journal of Botany 106*, no. 3 (2019): 377–388.

(8) Fernando Valladares, Ernesto Gianoli, and José M. Gómez, "Ecological Limits to Plant Phenotypic Plasticity," *New Phytologist 176* (2007): 749–763.

(9) The process by which environmental signals are perceived by sensors within cells and communicated internally is called signal transduction; see Abdul Razaque Memon and Camil Durakovic, "Signal Perception and Transduction in Plants," *Periodicals of Engineering and Natural Sciences 2*, no. 2 (2014): 15–29; Harry B. Smith, "Constructing Signal Transduction Pathways in *Arabidopsis*," *Plant Cell 11* (1999): 299–301.

(10) Sean S. Duffey and Michael J. Stout, "Antinutritive and Toxic Components of Plant Defense against Insects," *Archives of Insect Biochemistry and Physiology 32* (1996): 3–37.

(11) David C. Baulcombe and Caroline Dean, "Epigenetic Regulation in Plant Responses to the Environment," *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology 6* (2014): a019471; Paul F. Gugger, Sorel Fitz-Gibbon, Matteo Pellegrini, and Victoria L. Sork, "Species-wide Patterns of DNA Methylation Variation in *Quercus lobata* and Their Association with Climate Gradients," *Molecular Ecology* 25, no. 8 (2016): 1665–1680; Sonia E. Sultan, "Developmental Plasticity: Re-conceiving the Genotype," *Interface Focus 7*, no. 5 (2017): 20170009.

(12) Sun-tracking plants are thought to rotate their leaves and flowers to follow the sun in order to maximize exposure to sunlight or to promote pollinator visits. See M. P. M. Dicker, J. M. Rossiter, I. P. Bond, and P. M. Weaver, "Biomimetic Photo-actuation: Sensing, Control and Actuation in Sun Tracking Plants," *Bioinspiration & Biomimetics* 9 (2014): 036015; Hagop S. Atamian, Nicky M. Creux, Evan A. Brown, et al., "Circadian Regulation of Sunflower Heliotropism, Floral Orientation, and Pollinator Visits," *Science* 353, no. 6299 (2016): 587–590; Joshua P. Vandenbrink, Evan A. Brown, Stacey L. Harmer, and Benjamin K. Blackman, "Turning Heads: The Biology of Solar Tracking in Sunflower," *Plant Science* 224 (2014): 20–26.

(13) Angela Hodge, "Root Decisions," *Plant, Cell & Environment* 32, no. 6 (2009): 628–640; Efrat Dener, Alex Kacelnik, and Hagai Shemesh, "Pea Plants Show Risk Sensitivity," *Current Biology* 26, no. 12 (2016): 1–5.

(14) Jason D. Fridley, "Plant Energetics and the Synthesis of Population and Ecosystem Ecology," *Journal of Ecology* 105 (2017): 95–110.

(15) Monica Gagliano, Michael Renton, Martial Depczynski, and Stefano Mancuso, "Experience Teaches Plants to Learn Faster and Forget Slower in

Environments Where It Matters," *Oecologia* 175, no. 1 (2014): 63–72; Monica Gagliano, Charles I. Abramson, and Martial Depczynski, "Plants Learn and Remember: Lets Get Used to It," Oecologia 186, no. 1 (2018): 29–31.

(16) Michael Marder, "Plant Intentionality and the Phenomenological Framework of Plant Intelligence," *Plant Signaling & Behavior* 7, no. 11 (2012): 1365–1372.

(17) Marder, "Plant Intentionality."

(18) For supporters of this view, see Stefano Mancuso and Alessandra Viola, *Brilliant Green: The Surprising History and Science of Plant Intelligence* (Washington, DC: Island Press, 2015); Paco Calvo, Monica Gagliano, Gustavo M. Souza, and Anthony Trewavas, "Plants Are Intelligent, Here's How," *Annals of Botany* 125, no. 1 (2020): 11–28. For detractors, see Richard Firn, "Plant Intelligence: An Alternative Point of View," *Annals of Botany* 93, no.4 (2004): 345–351; Daniel Kolitz, "Are Plants Conscious?" *Gizmodo*, May 28, 2018, https://gizmodo.com/areplants-conscious-1826365668; Denyse O'Leary, "Scientists: Plants Are NOT Conscious!" *Mind Matters*, July 8, 2019, https://mindmatters.ai/2019/07/scientists-plants-are-not-conscious/. For agnostics, see Daniel A. Chamowitz, "Plants Are Intelligent—Now What," *Nature Plants* 4 (2018): 622-623. For an overview of the debate, see Ephrat Livni, "A Debate over Plant Consciousness Is Forcing Us to Confront the Limitations of the Human Mind," *Quartz*, June 3, 2018, https://qz.com/1294941/a-debate-over-plant-consciousness-isforcing-us-to-confront-the-limitations-of-the-human-mind/.

(19) Irwin N. Forseth, and Anne F. Innis, "Kudzu (*Pueraria montana*): History, Physiology, and Ecology Combine to Make a Major Ecosystem Threat," *Critical Reviews in Plant Sciences* 23, no. 5 (2004): 401–413.

الفصل الأول: بيئة متغيرة

(1) *Epigraph:* Barbara McClintock, quoted in Evelyn Fox Keller, *A Feeling for the Organism: The Life and Work of Barbara McClintock* (New York: W. H. Freeman, 1983), 199–200.

Tomoko Shinomura, “Phytochrome Regulation of Seed Germination,” *Journal of Plant Research* 110 (1997): 151–161.

(2) Ludwik W. Bielczynski, Gert Schansker, and Roberta Croce, “Effect of Light Acclimation on the Organization of Photosystem II Super- and Sub-Complexes in *Arabidopsis thaliana*,” *Frontiers in Plant Science* 7 (2016): 105; N. Friedland, S. Negi, T. Vinogradova-Shah, et al., “Fine-tuning the Photosynthetic Light Harvesting Apparatus for Improved Photosynthetic Efficiency and Biomass Yield,” *Scientific Reports* 9 (2019): 13028; Norman P. A. Huner, Gunnar Öquist, and Anastasios Melis, “Photostasis in Plants, Green Algae and Cyanobacteria: The Role of Light Harvesting Antenna Complexes,” in *Light-Harvesting Antennas in Photosynthesis*, ed. Beverley Green and William W. Parson (Dordrecht: Springer Netherlands, 2003), 401–421; Beronda L. Montgomery, “Seeing New Light: Recent Insights into the Occurrence and Regulation of Chromatic Acclimation in Cyanobacteria,” *Current Opinion in Plant Biology* 37 (2017): 18–23.

(3) Tegan Armarego-Marriott, Omar Sandoval Ibañez, and Łucja Kowalewska, “Beyond the Darkness: Recent Lessons from Etiolation and De-etiolation Studies,” *Journal of Experimental* Botany 71, no 4 (2020): 1215–1225.

(4) Beronda L. Montgomery, “Spatiotemporal Phytochrome Signaling during Photomorphogenesis: From Physiology to Molecular Mechanisms and Back,” *Frontiers in Plant Science* 7 (2016): 480; Sookyung Oh, Sankalpi N. Warnasooriya, and Beronda L. Montgomery, “Downstream Effectors of Light—and Phytochrome—Dependent Regulation of Hypocotyl Elongation

in *Arabidopsis thaliana*," *Plant Molecular Biology* 81, no. 6 (2013): 627–640; Sankalpi N. Warnasooriya and Beronda L. Montgomery, "Spatial-Specific Regulation of Root Development by Phytochromes in *Arabidopsis thaliana*," *Plant Signaling & Behavior* 6, no. 12 (2011): 2047–2050.

(5) Oh et al., "Downstream Effectors"; Warnasooriya and Montgomery, "Spatial-Specific Regulation."

(6) Ariel Novoplansky, "Developmental Plasticity in Plants: Implications of Non-Cognitive Behavior," *Evolutionary Ecology* 16, no. 3 (2002): 177–188, 183; Christine M. Palmer, Susan M. Bush, and Julin N. Maloof, "Phenotypic and Developmental Plasticity in Plants," *eLS*, Wiley Online Library, posted June 15, 2012, doi:10.1002/9780470015902.a0002092.pub2.

(7) Montgomery, "Spatiotemporal Phytochrome Signaling."

(8) Novoplansky, "Developmental Plasticity in Plants"; Stephen C. Stearns, "The Evolutionary Significance of Phenotypic Plasticity: Phenotypic Sources of Variation among Organisms Can Be Described by Developmental Switches and Reaction Norms," *BioScience* 39, no. 7 (1989): 436–445; Palmer et al., "Phenotypic and Developmental Plasticity in Plants."

(9) Novoplansky, "Developmental Plasticity in Plants," 179–180.

(10) There are, however, limits to the ability to modulate yield and seed set under prolonged stress. M. W. Adams, "Basis of Yield Component Compensation in Crop Plants with Special Reference to the Field Bean, *Phaseolus vulgaris*," *Crop Science* 7, no. 5 (1967): 505–510.

(11) Maaike De Jong and Ottoline Leyser, "Developmental Plasticity in Plants," in *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, vol. 77 (Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2012), 63–73; Stearns, "The Evolutionary Significance of Phenotypic Plasticity."

(12) Kerry L. Metlen, Erik T. Aschehoug, and Ragan M. Callaway, "Plant Behavioural Ecology: Dynamic Plasticity in Secondary Metabolites," *Plant, Cell & Environment* 32 (2009): 641–653.

(13) Tânia Sousa, Tiago Domingos, J.-C. Poggiale, and S. A. L. M. Kooijman, "Dynamic Energy Budget Theory Restores Coherence in Biology," *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365, no. 1557 (2010): 3413–3428.

(14) Fritz Geiser, "Conserving Energy during Hibernation," *Journal of Experimental Biology* 219 (2016): 2086-2087.

(15) The ability of plants to change form throughout their life cycle is the observable growth response that is most distinct from mammals, including humans. Ottoline Leyser, "The Control of Shoot Branching: An Example of Plant Information Processing," *Plant, Cell & Environment*, 32, no. 6 (2009): 694–703; Metlen et al., "Plant Behavioural Ecology"; Anthony Trewavas, "What Is Plant Behaviour?" *Plant, Cell & Environment* 32 (2009): 606–616.

(16) Carl D. Schlichting, "The Evolution of Phenotypic Plasticity in Plants," *Annual Review of Ecology and Systematics* 17, no. 1 (1986): 667–693; Fernando Valladares, Ernesto Gianoli, and José M. Gómez, "Ecological Limits to Plant Phenotypic Plasticity," *New Phytologist* 176 (2007): 749–763.

(17) The movement of petioles to reposition leaves upward is known as hyponasty, whereas downward movement of leaves is called epinasty; these process are regulated by plant hormones such as ethylene and auxin; Jae Young Kim, Young-Joon Park, June-Hee Lee, and Chung-Mo Park, "Developmental Polarity Shapes Thermo-Induced Nastic Movements in Plants," *Plant Signaling & Behavior* 14, no. 8 (2019): 1617609.

(18) Sarah Courbier, and Ronald Pierik, "Canopy Light Quality Modulates Stress Responses in Plants," *iScience* 22 (2019): 441–452;

Diederik H. Keuskamp, Rashmi Sasidharan, and Ronald Pierik, “Physiological Regulation and Functional Significance of Shade Avoidance Responses to Neighbors,” *Plant Signaling & Behavior* 5, no. 6 (2010): 655662; Hans de Kroon, Eric J. W. Visser, Heidrun Huber, et al., “A Modular Concept of Plant Foraging Behaviour: The Interplay between Local Responses and Systemic Control,” *Plant, Cell & Environment* 32, no. 6 (2009): 704–712.

(19) Light-dependent hyponasty, similar to temperature-dependent hyponasty, is driven by changes in cellular turgor pressure or differential growth on one surface of a plant organ, in this case mediated by hormones including ethylene (especially for petioles) and auxin; Joanna K. Polko, Laurentius A. C. J. Voesenek, Anton J. M. Peeters, and Ronald Pierik, “Petiole Hyponasty: An Ethylene-Driven, Adaptive Response to Changes in the Environment,” *AoB Plants* 2011 (2011): plr031.

(20) The suppression of lateral branch initiation and growth in the presence of the main or dominant branch is known as apical dominance, which is a hormone-regulated process in plants; Leyser, “The Control of Shoot Branching,” 695; Francois F. Barbier, Elizabeth A. Dun, and Christine A. Beveridge, “Apical Dominance,” *Current Biology* 27 (2017): R864–R865.

(21) David C. Baulcombe and Caroline Dean, “Epigenetic Regulation in Plant Responses to the Environment,” *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 6 (2014): a019471; Sonia E. Sultan, “Developmental Plasticity: Re-Conceiving the Genotype,” *Interface Focus* 7, no. 5 (2017): 20170009.

(22) Paul F. Gugger, Sorel Fitz-Gibbon, Matteo Pellegrini, and Victoria L. Sork, “Species-Wide Patterns of DNA Methylation Variation in *Quercus lobata* and Their Association with Climate Gradients,” *Molecular Ecology* 25, no. 8 (2016): 1665–1680.

(23) Quinn M. Sorenson and Ellen I. Damschen, “The Mechanisms Affecting Seedling Establishment in Restored Savanna Understories Are

Seasonally Dependent," *Journal of Applied Ecology* 56, no. 5 (2019): 1140–1151.

(24) Angela Hodge, "Plastic Plants and Patchy Soils," *Journal of Experimental Botany* 57, no. 2 (2006): 401–411.

(25) Angela Hodge, David Robinson, and Alastair Fitter, "Are Microorganisms More Effective than Plants at Competing for Nitrogen?" *Trends in Plant Science* 5, no. 7 (2000): 304–308; Ronald Pierik, Liesje Mommer, and Laurentius A. C. J. Voesenek, "Molecular Mechanisms of Plant Competition: Neighbour Detection and Response Strategies," *Functional Ecology* 27, no. 4 (2013): 841–853.

(26) Sultan, "Developmental Plasticity," 3; Brian G. Forde and Pia Walch-Liu, "Nitrate and Glutamate as Environmental Cues for Behavioural Responses in Plant Roots," *Plant, Cell & Environment*, 32, no. 6 (2009): 682–693.

(27) Hagai Shemesh, Ran Rosen, Gil Eshel, Ariel Novoplansky, and Ofer Ovadia, "The Effect of Steepness of Temporal Resource Gradients on Spatial Root Allocation," *Plant Signaling & Behavior* 6, no. 9 (2011): 1356–1360.

(28) Jocelyn E. Malamy and Katherine S. Ryan, "Environmental Regulation of Lateral Root Initiation in *Arabidopsis*," *Plant Physiology* 127, no. 3 (2001): 899; Hidehiro Fukaki, and Masao Tasaka, "Hormone Interactions during Lateral Root Formation," *Plant Molecular Biology* 69, no. 4 (2009): 437–449.

(29) Xucan Jia, Peng Liu, and Jonathan P. Lynch, "Greater Lateral Root Branching Density in Maize Improves Phosphorus Acquisition for Low Phosphorus Soil," *Journal of Experimental Botany* 69, no. 20 (2018): 4961–4970; Angela Hodge, "Root Decisions," *Plant, Cell & Environment* 32 (2009): 628–640; Angela Hodge, "The Plastic Plant: Root Responses to Heterogeneous Supplies of Nutrients," *New Phytologist* 162 (2004): 9–24.

(30) Xue-Yan Liu, Keisuke Koba, Akiko Makabe, and Cong-Qiang Liu, "Nitrate Dynamics in Natural Plants: Insights Based on the Concentration and Natural Isotope Abundances of Tissue Nitrate," *Frontiers in Plant Science* 5 (2014): 355; Leyser, "The Control of Shoot Branching," 699.

(31) Hagai Shemesh, Adi Arbiv, Mordechai Gersani, Ofer Ovadia, and Ariel Novoplansky, "The Effects of Nutrient Dynamics on Root Patch Choice," *PLoS One* 5, no. 5 (2010): e10824; M. Gersani, Z. Abramsky, and O. Falik, "Density-Dependent Habitat Selection in Plants," *Evolutionary Ecology* 12, no. 2 (1998): 223-234; Jia, Liu, and Lynch, "Greater Lateral Root Branching Density in Maize."

(32) Beronda L. Montgomery, "Processing and Proceeding," Beronda L. Montgomery website, May 3, 2020, http://www.berondamontgomery.com/writing/processing-and-proceeding/.

الفصل الثاني: صديقٌ أم عدوٌّ

(1) *Epigraph:* Masaru Emoto, *The Hidden Messages in Water,* trans. David A. Thayne (Hillsboro, OR: Beyond Words Publishing, 2004), 46.

Patricia Hornitschek, Séverine Lorrain, Vincent Zoete, et al., "Inhibition of the Shade Avoidance Response by Formation of Non-DNA Binding bHLH Heterodimers," *EMBO Journal* 28, no. 24 (2009): 3893–3902; Ronald Pierik, Liesje Mommer, and Laurentius A. C. J. Voesenek, "Molecular Mechanisms of Plant Competition: Neighbour Detection and Response Strategies," *Functional Ecology* 27, no. 4 (2013): 841–853; Céline Sorin, Mercè Salla-Martret, Jordi Bou-Torrent, et al., "ATHB4, a Regulator of Shade Avoidance, Modulates Hormone Response in *Arabidopsis* Seedlings," *Plant Journal* 59, no. 2 (2009): 266–277.

(2) Adrian G. Dyer, "The Mysterious Cognitive Abilities of Bees: Why Models of Visual Processing Need to Consider Experience and Individual

Differences in Animal Performance *Journal of Experimental Biology* 215, no. 3 (2012): 387–395.

(3) Richard Karban and John L. Orrock, “A Judgment and Decision-Making Model for Plant Behavior,” *Ecology*, 99, no. 9 (2018): 1909–1919; Dimitrios Michmizos and Zoe Hilioti, “A Roadmap towards a Functional Paradigm for Learning and Memory in Plants,” *Journal of Plant Physiology* 232 (2019): 209–215.

(4) Mieke de Wit, Wouter Kegge, Jochem B. Evers, et al., “Plant Neighbor Detection through Touching Leaf Tips Precedes Phytochrome Signals,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109, no. 36 (2012): 14705–14710.

(5) Monica Gagliano, “Seeing Green: The Re-discovery of Plants and Nature’s Wisdom,” *Societies* 3, no. 1 (2013): 147–157.

(6) Richard Karban and Kaori Shiojiri, “Self-Recognition Affects Plant Communication and Defense,” *Ecology Letters* 12, no. 6 (2009): 502–506; Richard Karban, Kaori Shiojiri, Satomi Ishizaki, et al., “Kin Recognition Affects Plant Communication and Defence,” *Proceedings of the Royal Society B* 280 (2013): 20123062.

(7) Amitabha Das, Sook-Hee Lee, Tae Kyung Hyun, et al., “Plant Volatiles as Method of Communication,” *Plant Biotechnology Reports* 7, no. 1 (2013): 9–26.

(8) Donald F. Cipollini and Jack C. Schultz, “Exploring Cost Constraints on Stem Elongation in Plants Using Phenotypic Manipulation,” *American Naturalist* 153, no. 2 (1999): 236–242.

(9) Jonathan P. Lynch, “Root Phenes for Enhanced Soil Exploration and Phosphorus Acquisition: Tools for Future Crops,” *Plant Physiology* 156, no. 3 (2011): 1041–1049.

(10) Ariel Novoplansky, “Picking Battles Wisely: Plant Behaviour under Competition,” *Plant, Cell and Environment* 32, no. 6 (2009): 726–741.

(11) Michal Gruntman, Dorothee Groß, Maria Májeková, and Katja Tielbörger, "Decision-Making in Plants under Competition," *Nature Communications* 8 (2017): 2235.

(12) Changes in energy distribution that occur when a plant is shaded involve a number of hormones, including auxins, which contribute to differential growth, and cytokinins, which arrest leaf development to free up energy resources for growth of stems and petioles. Ethylene and brassinosteroids promote petiole elongation under shade in some plants, whereas abscissic acid inhibits branching. See Diederik H. Keuskamp, Rashmi Sasidharan, and Ronald Pierik, "Physiological Regulation and Functional Significance of Shade Avoidance Responses to Neighbors," *Plant Signaling & Behavior* 5, no. 6 (2010): 655–662; Pierik et al., "Molecular Mechanisms of Plant Competition"; Chuanwei Yang and Lin Li, "Hormonal Regulation in Shade Avoidance," *Frontiers in Plant Science* 8 (2017): 1527.

(13) Irma Roig-Villanova and Jaime Martínez-García, "Plant Responses to Vegetation Proximity: A Whole Life Avoiding Shade," *Frontiers in Plant Science* 7 (2016): 236; Kasper van Gelderen, Chiakai Kang, Richard Paalman, et al., "Far-Red Light Detection in the Shoot Regulates Lateral Root Development through the HY5 Transcription Factor," *Plant Cell* 30, no. 1 (2018): 101–116.

(14) Jelmer Weijschedé, Jana Martínková, Hans de Kroon, and Heidrun Huber, "Shade Avoidance in *Trifolium repens*: Costs and Benefits of Plasticity in Petiole Length and Leaf Size," *New Phytologist* 172 (2006): 655–666.

(15) M. Franco, "The Influence of Neighbours on the Growth of Modular Organisms with an Example from Trees," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences* 313, no. 1159 (1986): 209–225.

(16) Andreas Möglich, Xiaojing Yang, Rebecca A. Ayers, and Keith Moffat, "Structure and Function of Plant Photoreceptors," *Annual Review of*

Plant Biology 61 (2010): 21–47; Inyup Paik and Enamul Huq, "Plant Photoreceptors: Multifunctional Sensory Proteins and Their Signaling Networks," *Seminars in Cell & Developmental Biology* 92 (2019): 114–121.

(17) Gruntman et al., "Decision-Making." The plant hormones involved in this process include auxin, gibberellins, and ethylene—the latter well known for its role in the ripening of bananas and apples, described in Lin Ma, and Gang Li, "Auxin-Dependent Cell Elongation during the Shade Avoidance Response," *Frontiers in Plant Science* 10 (2019):914 and Ronald Pierik, Eric J.W. Visser, Hans de Kroon, and Laurentius A. C. J. Voesenek, "Ethylene is Required in Tobacco to Successfully Compete with Proximate Neighbours," *Plant, Cell & Environment* 26, no. 8 (2003): 1229–1234.

(18) Although there is a general assumption that altruism among kin occurs due to increasing the possibility of passing on one's genes, it is the increased possibility of passing on specific genes, referred to as survival genes or altruism genes, that drives kin selection, rather than bulk gene flow that would include many genes neutral to survival; Justin H. Park, "Persistent Misunderstandings of Inclusive Fitness and Kin Selection: Their Ubiquitous Appearance in Social Psychology Textbooks," *Evolutionary Psychology* 5, no. 4 (2007): 860–873.

(19) Guillermo P. Murphy and Susan A. Dudley, "Kin Recognition: Competition and Cooperation in *Impatiens* (Balsaminaceae)," *American Journal of Botany* 96, no. 11 (2009): 1990–1996.

(20) María A. Crepy and Jorge J. Casal, "Photoreceptor-Mediated Kin Recognition in Plants," *New Phytologist* 205, no. 1 (2015): 329–338; Murphy and Dudley, "Kin Recognition."

(21) Heather Fish, Victor J. Lieffers, Uldis Silins, and Ronald J. Hall, "Crown Shyness in Lodgepole Pine Stands of Varying Stand Height, Density, and Site Index in the Upper Foothills of Alberta," *Canadian Journal of Forest Research* 36, no. 9 (2006): 2104–2111; Francis E. Putz, Geoffrey

G. Parker, and Ruth M. Archibald, “Mechanical Abrasion. and Intercrown Spacing,” *American Midland Naturalist* 112, no. 1 (1984): 24–28.

(22) Franco, “The Influence of Neighbours on the Growth of Modular Organisms”; Alan J. Rebertus, “Crown Shyness in a Tropical Cloud Forest,” *Biotropica* vol. 20, no. 4 (1988): 338-339.

(23) Tomáš Herben and Ariel Novoplansky, “Fight or Flight: Plastic Behavior under Self-Generated Heterogeneity,” *Evolutionary Ecology* 24, no. 6 (2010): 1521–1536.

(24) Mieke de Wit, Gavin M. George, Yetkin Çaka Ince, et al., “Changes in Resource Partitioning Between and Within Organs Support Growth Adjustment to Neighbor Proximity in *Brassicaceae* Seedlings,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115, no. 42 (2018): E9953–E9961; Charlotte M. M. Gommers, Sara Buti, Danuše Tarkowská, et al., “Organ-Specific Phytohormone Synthesis in Two *Geranium* Species with Antithetical Responses to Far-red Light Enrichment,” *Plant Direct* 2 (2018): 1–12; Yang and Li, “Hormonal Regulation in Shade Avoidance.”

(25) S. Mathur, L. Jain, and A. Jajoo, “Photosynthetic Efficiency in Sun and Shade Plants,” *Photosynthetica* 56, no. 1 (2018): 354–365.

(26) Crepy and Casal, “Photoreceptor-Mediated Kin Recognition”; Gruntman et al., “Decision-making.”

(27) Robert Axelrod and William D. Hamilton, “The Evolution of Cooperation,” *Science* 211, no. 4489 (1981): 1390–1396.

(28) Joseph M. Craine and Ray Dybzinski, “Mechanisms of Plant Competition for Nutrients, Water and Light,” *Functional Ecology* 27, no. 4 (2013): 833–840; M. Gersani, Z. Abramsky, and O. Falik, “Density-Dependent Habitat Selection in Plants,” *Evolutionary Ecology* 12, no. 2 (1998): 223–234.

(29) H. Marschner and V. Römheld, “Strategies of Plants for Acquisition of Iron,” *Plant and Soil* 165, no. 2 (1994): 261–274; Ricardo F. H. Giehl and Nicolaus von Wirén, “Root Nutrient Foraging,” *Plant Physiology* 166, no. 2 (2014): 509–517; Daniel P. Schachtman, Robert J. Reid, and Sarah M. Ayling, “Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell,” *Plant Physiology* 116, no. 2 (1998): 447–453.

(30) Felix D. Dakora and Donald A. Phillips, “Root Exudates as Mediators of Mineral Acquisition in Low-nutrient Environments,” *Plant and Soil* 245 (2002): 35–47; Jordan Vacheron, Guilhem Desbrosses, Marie-Lara Bouffaud, et al., “Plant Growth-promoting Rhizo-bacteria and Root System Functioning,” *Frontiers in Plant Science* 4 (2013): 356.

(31) H. Jochen Schenk, “Root Competition: Beyond Resource Depletion,” *Journal of Ecology* 94, no. 4 (2006): 725–739.

(32) Susan A. Dudley and Amanda L. File, “Kin Recognition in an Annual Plant,” *Biology Letters* 3, no. 4 (2007): 435–438. Such responses are often associated with competition being affected by the “input-matching rule,” which states that the amount of available resources, or energy input, influences behavior that can be adjusted depending on the presence of kin or non-kin competitors; see Geoffrey A. Parker, “Searching for Mates,” in *Behavioural Ecology: An Evolutionary Approach*, ed. John R. Krebs and Nicholas B. Davies (Oxford: Blackwell Scientific, 1978), 214–244.

(33) Meredith L. Biedrzycki, Tafari A. Jilany, Susan A. Dudley, and Harsh P. Bais, “Root Exudates Mediate Kin Recognition in Plants,” *Communicative and Integrative Biology* 3, no. 1 (2010): 28–35.

(34) Richard Karban, Louie H. Yang, and Kyle F. Edwards, “Volatile Communication between Plants That Affects Herbivory: A Meta-Analysis,” *Ecology Letters* 17, no. 1 (2014): 44–52.

(35) Justin B. Runyon, Mark C. Mescher, and Consuelo M. De Moraes, "Volatile Chemical Cues Guide Host Location and Host Selection by Parasitic Plants," *Science* 313, no. 5795 (2006): 1964–1967.

(36) Kathleen L Farquharson, "A Sesquiterpene Distress Signal Transmitted by Maize," *Plant Cell* 20, no. 2 (2008): 244; Pierik et al., "Molecular Mechanisms of Plant Competition," 844.

(37) Robin Wall Kimmerer, *Braiding Sweetgrass: Indigenous Wisdom, Scientific Knowledge and the Teachings of Plants* (Minneapolis, MN: Milkweed Editions, 2015), 133; Janet I. Sprent, "Global Distribution of Legumes," in *Legume Nodulation: A Global Perspective* (Oxford: Wiley-Blackwell, 2009), 35–50; Jungwook Yang, Joseph W. Kloepper, and Choong-Min Ryu, "Rhizosphere Bacteria Help Plants Tolerate Abiotic Stress," *Trends in Plant Science* 14, no. 1 (2009): 1–4; Sally E. Smith and David Read, "Introduction," in *Mycorrhizal Symbiosis*, 3rd ed. (London: Academic Press, 2008), 1–9.

(38) Yina Jiang, Wanxiao Wang, Qiujin Xie, et al., "Plants Transfer Lipids to Sustain Colonization by Mutualistic Mycorrhizal and Parasitic Fungi," *Science* 356, no. 6343 (2017): 1172–1175; Andreas Keymer, Priya Pimprikar, Vera Wewer, et al., "Lipid Transfer From Plants to Arbuscular Mycorrhiza Fungi," *eLIFE* 6 (2017): e29107; Leonie H. Luginbuehl, Guillaume N. Menard, Smita Kurup, et al., "Fatty Acids in Arbuscular Mycorrhizal Fungi Are Synthesized by the Host Plant," *Science* 356, no. 6343 (2017): 1175–1178; Tamir Klein, Rolf T. W. Siegwolf, and Christian Körner, "Belowground Carbon Trade among Tall Trees in a Temperate Forest," *Science* 352, no. 6283 (2016): 342–344.

(39) Mathilde Malbreil, Emilie Tisserant, Francis Martin, and Christophe Roux, "Genomics of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Out of the Shadows," *Advances in Botanical Research* 70 (2014): 259–290.

(40) Zdenka Babikova, Lucy Gilbert, Toby J. A. Bruce, et al., “Underground Signals Carried through Common Mycelial Networks Warn Neighbouring Plants of Aphid Attack,” *Ecology Letters* 16, no. 7 (2013): 835–843.

(41) Amanda L. File, John Klironomos, Hafiz Maherali, and Susan A. Dudley, “Plant Kin Recognition Enhances Abundance of Symbiotic Microbial Partner,” *PLoS ONE* 7, no. 9 (2012): e45648.

(42) Angela Hodge, “Root Decisions,” *Plant, Cell & Environment* 32 (2009): 628–640.

(43) Tereza Konvalinková and Jan Jansa, “Lights Off for Arbuscular Mycorrhiza: On Its Symbiotic Functioning under Light Deprivation,” *Frontiers in Plant Science* 7 (2016): 782.

(44) Abeer Hashem, Elsayed F. Abd_Allah, Abdulaziz A. Alqarawi, et al., “The Interaction between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Endophytic Bacteria Enhances Plant Growth of *Acacia gerrardii* under Salt Stress,” *Frontiers in Microbiolog*y 7 (2016): 1089.

(45) Pedro M. Antunes, Amarilis De Varennes, Istvan Rajcan, and Michael J. Goss, “Accumulation of Specific Flavonoids in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) as a Function of the Early Tripartite Symbiosis with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and *Bradyrhizobium japonicum* (Kirchner) Jordan,” *Soil Biology and Biochemistry* 38, no. 6 (2006): 1234–1242; Sajid Mahmood Nadeem, Maqshoof Ahmad, Zahir Ahmad Zahir, et al., “The Role of Mycorrhizae and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Improving Crop Productivity under Stressful Environments,” *Biotechnology Advances* 32, no. 2 (2014): 429–448.

(46) Individual success models are described in Joseph A. Whittaker and Beronda L. Montgomery, “Cultivating Diversity and Competency in STEM: Challenges and Remedies for Removing Virtual Barriers to Constructing Diverse Higher Education Communities of Success,”

Journal of Undergraduate Neuroscience Education 11, no. 1 (2012): A44–A51; Beronda L. Montgomery, Jualynne E. Dodson, and Sonya M. Johnson, “Guiding the Way: Mentoring Graduate Students and Junior Faculty for Sustainable Academic Careers,” *SAGE Open* 4, no. 4 (2014): doi: 10.1177/2158244014558043.

(47) Patricia Matthew, ed., *Written/Unwritten: Diversity and the Hidden Truths of Tenure*. (Chapel Hill: University of North Carolina Press).

الفصل الثالث: المخاطرة من أجل الفوز

(1) *Epigraph:* Hope Jahren, *Lab Girl* (New York: Knopf, 2016), 52.

Janice Friedman and Matthew J. Rubin, “All in Good Time: Understanding Annual and Perennial Strategies in Plants,” *American Journal of Botany* 102, no. 4 (2015): 497–499.

(2) Corrine Duncan, Nick L. Schultz, Megan K. Good, et al., “The Risk-Takers and -Avoiders: Germination Sensitivity to Water Stress in an Arid Zone with Unpredictable Rainfall,” *AoB Plants* 11, no. (2019): plz066.

(3) Thomas Caraco, Steven Martindale, and Thomas S. Whittam, “An Empirical Demonstration of Risk-Sensitive Foraging Preferences,” *Animal Behaviour* 28, no. 3 (1980): 820–830; Hiromu Ito, “Risk Sensitivity of a Forager with Limited Energy Reserves in Stochastic Environments,” *Ecological Research* 34, no. 1 (2019): 9–17; Alex Kacelnik, and Melissa Bateson, “Risk-sensitivity: Crossroads for Theories of Decision-making,” *Trends in Cognitive Sciences* 1, no. 8 (1997): 304–309.

(4) Richard Karban, John L. Orrock, Evan L. Preisser, and Andrew Sih, “A Comparison of Plants and Animals in Their Responses to Risk of Consumption,” *Current Opinion in Plant Biology* 32 (2016): 1–8.

(5) Efrat Dener, Alex Kacelnik, and Hagai Shemesh, "Pea Plants Show Risk Sensitivity," *Current Biology* 26, no. 13 (2016): 1763–1767; Hagai Shemesh, Adi Arbiv, Mordechai Gersani, et al., "The Effects of Nutrient Dynamics on Root Patch Choice," *PLoS ONE* 5, no. 5 (2010): e10824.

(6) Hagai Shemesh, Ran Rosen, Gil Eshel, et al., "The Effect of Steepness of Temporal Resource Gradients on Spatial Root Allocation," *Plant Signaling & Behavior* 6, no. 9 (2011): 1356–1360.

(7) Shemesh et al., "The Effects of Nutrient Dynamics"; Shemesh and Novoplansky, "Branching the Risks."

(8) Enrico Pezzola, Stefano Mancuso, and Richard Karban, "Precipitation Affects Plant Communication and Defense," *Ecology* 98, no. 6 (2017): 1693–1699.

(9) Omer Falik, Yonat Mordoch, Lydia Quansah, et al., "Rumor Has It …: Relay Communication of Stress Cues in Plants," *PLoS ONE* 6, no. 11 (2011): e23625.

(10) Chuanwei Yang, and Lin Li, "Hormonal Regulation in Shade Avoidance," *Frontiers in Plant Science* 8 (2017): 1527.

(11) Virginia Morell, "Plants Can Gamble," *Science Magazine News*, June 2016, http://www.sciencemag.org/news/2016/06/plants-can-gamble-according-study.

(12) Dener, Kacelnik, and Shemesh, "Pea Plants Show Risk Sensitivity."

(13) Stefan Hörtensteiner, and Bernhard Kräutler, "Chlorophyll Breakdown in Higher Plants," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics* 1807, no. 8 (2011): 977–988; Hazem M. Kalaji, Wojciech Bąba, Krzysztof Gediga, et al., "Chlorophyll Fluorescence as a Tool for Nutrient Status Identification in Rapeseed Plants," *Photosynthesis Research* 136, no. 3 (2018): 329–343; Angela Hodge, "Root Decisions," *Plant, Cell & Environment* 32, no. 6 (2009): 630.

(14) Hodge, "Root Decisions," 629.

(15) Bagmi Pattanaik, Andrea W. U. Busch, Pingsha Hu, Jin Chen, and Beronda L. Montgomery, “Responses to Iron Limitation Are Impacted by Light Quality and Regulated by RcaE in the Chromatically Acclimating Cyanobacterium *Fremyella diplosiphon*,” *Microbiology* 160, no. 5 (2014): 992–1005; Sigal Shcolnick and Nir Keren, “Metal Homeostasis in Cyanobacteria and Chloroplasts. Balancing Benefits and Risks to the Photosynthetic Apparatus,” *Plant Physiology* 141, no. 3 (2006): 805–810.

(16) W. L. Lindsay and A. P. Schwab, “The Chemistry of Iron in Soils and Its Availability to Plants,” *Journal of Plant Nutrition* 5, no. 4–7 (1982): 821–840.

(17) Tristan Lurthy, Cécile Cantat, Christian Jeudy, et al., “Impact of Bacterial Siderophores on Iron Status and Ionome in Pea,” *Frontiers in Plant Science* 11 (2020): 730.

(18) H. Marschner and V. Römheld, “Strategies of Plants for Acquisition of Iron,” *Plant and Soil* 165, no. 2 (1994): 261–274.

(19) Lurthy et al., “Impact of Bacterial Siderophores.”

(20) Chong Wei Jin, Yi Quan Ye, and Shao Jian Zheng, “An Underground Tale: Contribution of Microbial Activity to Plant Iron Acquisition via Ecological Processes,” *Annals of Botany* 113, no. 1 (2014): 7–18.

(21) Shah Jahan Leghari, Niaz Ahmed Wahocho, Ghulam Mustafa Laghari, et al., “Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A Review,” *Advances in Environmental Biology* 10, no. 9 (2016): 209–219.

(22) Philippe Nacry, Eléonore Bouguyon, and Alain Gojon, “Nitrogen Acquisition by Roots: Physiological and Developmental Mechanisms Ensuring Plant Adaptation to a Fluctuating Resource,” *Plant and Soil* 370, no. 1–2 (2013): 1–29.

(23) Ricardo F. H. Giehl and Nicolaus von Wirén, “Root Nutrient Foraging,” *Plant Physiology* 166, no. 2 (2014): 509–517.

(24) Nitrogen-fixing bacteria such as *Rhizobia* and *Frankia* are housed in nodules inside plant roots (most commonly those of leguminous plants such as beans), while other nitrogen-fixing organisms, such as cyanobacteria, can be housed either on the external surface of roots or internally. For reviews, see Claudine Franche, Kristina Lindström, and Claudine Elmerich, "Nitrogen-Fixing Bacteria Associated with Leguminous and Non-Leguminous Plants," *Plant and Soil* 321, no. 1-2 (2009): 35–59; Florence Mus, Matthew B. Crook, Kevin Garcia, et al., "Symbiotic Nitrogen Fixation and the Challenges to Its Extension to Nonlegumes," *Applied and Environmental Microbiology* 82, no. 13 (2016): 3698–3710; Carole Santi, Didier Bogusz, and Claudine Franche, "Biological Nitrogen Fixation in Non-Legume Plants," *Annals of Botany* 111, no. 5 (2013): 743–767.

(25) Philippe Hinsinger, "Bioavailability of Soil Inorganic P in the Rhizosphere as Affected by Root-Induced Chemical Changes: A Review," *Plant and Soil* 237 (2001): 173–195.

(26) Daniel P. Schachtman, Robert J. Reid, and Sarah M. Ayling, "Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell," *Plant Physiology* 116, no. 2 (1998): 447–453.

(27) Alan E. Richardson, Jonathan P. Lynch, Peter R. Ryan, et al., "Plant and Microbial Strategies to Improve the Phosphorus Efficiency of Agriculture," *Plant and Soil* 349 (2011): 121–156; Schachtman et al., "Phosphorus Uptake by Plants."

(28) Carroll P. Vance, Claudia Uhde-Stone, and Deborah L. Allan, "Phosphorus Acquisition and Use: Critical Adaptations by Plants for Securing a Nonrenewable Resource," *New Phytologist* 157, no. 3 (2003): 423–447.

(29) K. G. Raghothama, "Phosphate Acquisition," *Annual Review of Plant Biology* 50, no. 1 (1999): 665–693; Schachtman et al., "Phosphorus Uptake by Plants"; Marcel Bucher, "Functional Biology of Plant Phosphate

Uptake at Root and Mycorrhiza Interfaces," *New Phytologist* 173, no. 1 (2007): 11–26.

(30) Martina Friede, Stephan Unger, Christine Hellmann, and Wolfram Beyschlag, "Conditions Promoting Mycorrhizal Parasitism Are of Minor Importance for Competitive Interactions in Two Differentially Mycotrophic Species," *Frontiers in Plant Science* 7 (2016): 1465.

(31) Eiji Gotoh, Noriyuki Suetsugu, Takeshi Higa, et al., "Palisade Cell Shape Affects the Light-Induced Chloroplast Movements and Leaf Photosynthesis," *Scientific Reports* 8, no. 1 (2018): 1–9; L. A. Ivanova and V. I. P'yankov, "Structural Adaptation of the Leaf Mesophyll to Shading," *Russian Journal of Plant Physiology* 49, no. 3 (2002): 419–431.

(32) Photoprotective pigments, including xanthophylls and anthocyanins, are more abundant in sun leaves than in shade leaves. Investing in such proteins is energetically costly. See J. A. Gamon and J. S. Surfus, "Assessing Leaf Pigment Content and Activity with a Reflectometer," *New Phytologist* 143, no. 1 (1999): 105–117; Susan S. Thayer and Olle Björkman, "Leaf Xanthophyll Content and Composition in Sun and Shade Determined by HPLC," *Photosynthesis Research* 23, no. 3 (1990): 331–343.

(33) Hagai Shemesh, and Ariel Novoplansky, "Branching the Risks: Architectural Plasticity and Bet-hedging in Mediterranean Annuals," *Plant Biology* 15, no. 6 (2013): 1001–1012; Hagai Shemesh, Benjamin Zaitchik, Tania Acuña, and Ariel Novoplansky, "Architectural Plasticity in a Mediterranean Winter Annual," *Plant Signaling & Behavior* 7, no. 4 (2012): 492–501.

(34) Nir Sade, Alem Gebremedhin, and Menachem Moshelion, "Risk-taking Plants: Anisohydric Behavior as a Stress-resistance Trait," *Plant Signaling & Behavior* 7, no.7 (2012): 767–770.

الفصل الرابع: التحوُّل

(1) *Epilogue:* Amy Leach, *Things That Are* (Minneapolis, MN: Milkweed Editions, 2012), 40.

Eric Wagner, *After the Blast: The Ecological Recovery of Mount St. Helens* (Seattle: University of Washington Press, 2020).

(2) Garrett A. Smathers and Dieter Mueller-Dombois, *Invasion and Recovery of Vegetation after a Volcanic Eruption in Hawaii* (Washington, DC: National Park Service, 1974); Gregory H. Aplet, R. Flint Hughes, and Peter M. Vitousek, "Ecosystem Development on Hawaiian Lava Flows: Biomass and Species Composition," *Journal of Vegetation Science* 9, no. 1 (1998): 17–26.

(3) Leigh B. Lentile, Penelope Morgan, Andrew T. Hudak, et al., "Post-fire Burn Severity and Vegetation Response Following Eight Large Wildfires across the Western United States," *Fire Ecology* 3, no. 1 (2007): 91–108.

(4) Lentile et al., "Post-fire Burn Severity"; Diane H. Rachels, Douglas A. Stow, John F. O'Leary, et al., "Chaparral Recovery Following a Major Fire with Variable Burn Conditions," *International Journal of Remote Sensing* 37, no. 16 (2016): 38363857.

(5) For examples see A. J. Kayll and C. H. Gimingham, "Vegetative Regeneration of *Calluna vulgaris* after Fire," *Journal of Ecolog*y 53, no. 3 (1965): 729–734; Nandita Mondal and Raman Sukumar, "Regeneration of Juvenile Woody Plants after Fire in a Seasonally Dry Tropical Forest of Southern India," *Biotropica* 47, no. 3 (2015): 330–338; Stephen J. Pyne, "How Plants Use Fire (and Are Used by It)," *Fire Wars*, Nova online, PBS, June 2002, https://www.pbs.org/wgbh/nova/fire/plants.html.

(6) Timothy A. Mousseau, Shane M. Welch, Igor Chizhevsky, et al., "Tree Rings Reveal Extent of Exposure to Ionizing Radiation in Scots Pine *Pinus sylvestris*," *Trees* 27, no. 5 (2013): 1443–1453.

(7) Nicholas A. Beresford, E. Marian Scott, and David Copplestone, "Field Effects Studies in the Chernobyl Exclusion Zone: Lessons to be Learnt," *Journal of Environmental Radioactivity* 211 (2020): 105893.

(8) Gordon C. Jacoby and Rosanne D. D'Arrigo, "Tree Rings, Carbon Dioxide, and Climatic Change," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94, no. 16 (1997): 8350–8353.

(9) Christophe Plomion, Grégoire Leprovost, and Alexia Stokes, "Wood Formation in Trees," *Plant Physiology* 127, no. 4 (2001): 1513–1523; Keith Roberts and Maureen C. McCann, "Xylogenesis: the Birth of a Corpse," *Current Opinion in Plant Biology* 3, no. 6 (2000): 517–522.

(10) Veronica De Micco, Marco Carrer, Cyrille B. K. Rathgeber, et al., "From Xylogenesis to Tree Rings: Wood Traits to Investigate Tree Response to Environmental Changes," *IAWA Journal* 40, no. 2 (2019): 155–182; Jacoby and D'Arrigo, "Tree Rings."

(11) Mousseau et al., "Tree Rings Reveal Extent of Exposure," 1443.

(12) Timothy A. Mousseau, Gennadi Milinevsky, Jane Kenney-Hunt, and Anders Pape MØller, "Highly Reduced Mass Loss Rates and Increased Litter Layer in Radioactively Contaminated Areas," *Oecologia* 175, no. 1 (2014): 429–437.

(13) Igor Kovalchuk, Vladimir Abramov, Igor Pogribny, and Olga Kovalchuk, "Molecular Aspects of Plant Adaptation to Life in the Chernobyl Zone," *Plant Physiology* 135, no. 1 (2004): 357–363.

(14) Cynthia C. Chang and Benjamin L. Turner, "Ecological Succession in a Changing World," *Journal of Ecology* 107, no. 2 (2019): 503–509; Karel Prach and Lawrence R. Walker, "Differences between Primary and Secondary Plant Succession among Biomes of the World," *Journal of Ecology 107*, no. 2 (2019): 510–516. The lesser degree of severity during

secondary succession refers to a lesser impact on the environment compared to primary succession, rather than the impact on individuals. Devastating forest fires can result in complete displacement and homelessness for animals and humans, which is certainly felt as a severe disturbance to those involved.

(15) Chang and Turner, "Ecological Succession in a Changing World."

(16) Prach and Walker, "Four Opportunities for Studies of Ecological Succession," 119.

(17) Prach and Walker, "Four Opportunities for Studies of Ecological Succession," 120.

(18) Malcolm J. Zwolinski, "Fire Effects on Vegetation and Succession," in *Proceedings of the Symposium on Effects of Fire Management on Southwestern Natural Resources* (Fort Collins, CO: USDA–Forest Service, 1990), 18–24. Here, colonization refers to the biological process of plants establishing themselves in an ecological niche. In drawing lessons from plants in this context, direct correlations to human colonization, which is often associated with appropriation of both land and culture, is not intended in any way.

(19) I. R. Noble and R. O. Slatyer, "The Use of Vital Attributes to Predict Successional Changes in Plant Communities Subject to Recurrent Disturbances," *Vegetatio* 43, no. 1/2 (1980): 5–21; Malcolm J. Zwolinski, "Fire Effects on Vegetation and Succession," 22.

(20) Joseph H. Connell and Ralph O. Slatyer, "Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization," *American Naturalist* 111, no. 982 (1977): 1119–1144.

(21) Connell and Slatyer, "Mechanisms of Succession"; Tiffany M. Knight and Jonathan M. Chase, "Ecological Succession: Out of the Ash," *Current Biology* 15, no. 22 (2005): R926–R927.

(22) Knight and Chase, "Ecological Succession," R926.

(23) Mark E. Ritchie, David Tilman, and Johannes M. H. Knops, “Herbivore Effects on Plant and Nitrogen Dynamics in Oak Savanna,” *Ecology* 79, no. 1 (1998): 165–177.

(24) Peter M. Vitousek, Pamela A. Matson, and Keith Van Cleve, “Nitrogen Availability and Nitrification during Succession: Primary, Secondary, and Old-Field Seres,” *Plant Soil* 115 (1989): 233; Jonathan J. Halvorson, Eldon H. Franz, Jeffrey L. Smith, and R. Alan Black, “Nitrogenase Activity, Nitrogen Fixation, and Nitrogen Inputs by Lupines at Mount St. Helens,” *Ecology* 73, no. 1 (1992): 87–98; Henrik Hartmann, and Susan Trumbore, “Understanding the Roles of Nonstructural Carbohydrates in Forest Trees—From What We Can Measure to What We Want to Know,” *New Phytologist* 211, no. 2 (2016): 386–403; Robin Wall Kimmerer, *Braiding Sweetgrass: Indigenous Wisdom, Scientific Knowledge and the Teachings of Plants* (Minneapolis, MN: Milkweed Editions, 2015), 133; Knight and Chase, “Ecological Succession,” R926; Janet I. Sprent, “Global Distributions of Legumes,” in *Legume Nodulation: A Global Perspective* (Oxford: Wiley-Blackwell, 2009), 35–50; Jungwook Yang, Joseph W. Kloepper, and Choong-Min Ryu, “Rhizosphere Bacteria Help Plants Tolerate Abiotic Stress,” *Trends in Plant Science* 14, no. 1 (2009): 1–4.

(25) Connell and Slatyer, “Mechanisms of Succession,” 1123–1124.

(26) Zwolinski, “Fire Effects on Vegetation and Succession,” 21.

(27) Vitousek et al., “Nitrogen Availability,” 233; Eugene F. Kelly, Oliver A. Chadwick, and Thomas E. Hilinski, “The Effect of Plants on Mineral Weathering,” *Biogeochemistry* 42 (1998): 21–53; Angela Hodge, “Root Decisions,” *Plant, Cell & Environment* 32 (2009): 628–640.

(28) Julie Sloan Denslow, “Patterns of Plant Species Diversity during Succession under Different Disturbance Regimes,” *Oecologia* 46, no. 1 (1980): 18–21.

(29) Knight and Chase, “Ecological Succession,” R926; Vitousek et al., “Nitrogen Availability,” 233.

(30) Vitousek et al., “Nitrogen Availability,” 230.

(31) Connell and Slatyer, “Mechanisms of Succession”; Denslow, “Patterns of Plant Species Diversity.”

(32) Denslow, “Patterns of Plant Species Diversity,” 18.

(33) Vitousek et al., “Nitrogen Availability,” 230; Zwolinski, “Fire Effects on Vegetation and Succession,” 21–22.

(34) The terms alpha and beta diversity, together with a third term, gamma diversity, were first introduced by R. H. Whittaker in 1960, in “Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California,” *Ecological Monographs* 30 (1960): 279–338. See also Christopher M. Swan, Anna Johnson, and David J. Nowak, “Differential Organization of Taxonomic and Functional Diversity in an Urban Woody Plant Metacommunity,” *Applied Vegetation Science* 20 (2017): 7–17.

(35) Swan et al., “Differential Organization,” 8.

(36) Denslow, “Patterns of Plant Species Diversity,” 18.

(37) Swan et al., “Differential Organization,” 10.

(38) Sheikh Rabbi, Matthew K. Tighe, Richard J. Flavel, et al., “Plant Roots Redesign the Rhizosphere to Alter the Three-Dimensional Physical Architecture and Water Dynamics,” *New Phytologist* 219, no. 2 (2018): 542–550.

(39) Jan K. Schjoerring, Ismail Cakmak, and Philip J. White, “Plant Nutrition and Soil Fertility: Synergies for Acquiring Global Green Growth and Sustainable Development,” *Plant and Soil* 434 (2019): 1–6; Adnan Noor Shah, Mohsin Tanveer, Babar Shahzad, et al., “Soil Compaction Effects on Soil Health and Crop Productivity: An Overview,” *Environmental Science and Pollution Research* 24 (2017): 10056–10067.

(40) Rabbi et al., "Plant Roots Redesign", 542; Debbie S. Feeney, John W. Crawford, Tim Daniell, et al., "Three-dimensional Microorganization of the Soil–Root–Microbe System," *Microbial Ecology* 52, no. 1 (2006): 151–158.

(41) Kerry L. Metlen, Erik T. Aschehoug, and Ragan M. Callaway, "Plant Behavioural Ecology: Dynamic Plasticity in Secondary Metabolites," *Plant, Cell & Environment* 32, no. 6 (2009): 641–653.

(42) Rabbi et al., "Plant Roots Redesign," 542; Feeney et al., "Three-dimensional Microorganization."

(43) Dayakar V. Badri and Jorge M. Vivanco, "Regulation and Function of Root Exudates," *Plant, Cell & Environment*, 32, no. 6 (2009): 666–681; Metlen, Aschehoug, and Callaway, "Plant Behavioural Ecology."

(44) Rabbi et al., "Plant Roots Redesign," 543.

(45) D. B. Read, A. G. Bengough, P. J. Gregory, et al., "Plant Roots Release Phospholipid Surfactants That Modify the Physical and Chemical Properties of Soil," *New Phytologist* 157, no. 2 (2003): 315–326.

(46) Read et al., "Plant Roots Release Phospholipid Surfactants," 316.

(47) Ergosterol is a fungal-specific sterol found in the cell membranes of fungi that functions to maintain cell membrane permeability. It is a biomarker that is often quantified to estimate the biomass of mycorrhizal fungi association with plants roots or soil samples; Yongqiang Zhang, and Rajini Rao, "Beyond Ergosterol: Linking pH to Antifungal Mechanisms," *Virulence* 1, no, 6 (2010): 551–554.

(48) The glycoprotein glomalin is an organic compound rich in carbon and nitrogen that is produced by arbuscular mycorrhizal fungi. It is released into the rhizosphere and alters soil properties such as aggregation and absorption of water; Karl Ritz and Iain M. Young, "Interactions between Soil Structure and Fungi," *Mycologist* 18, no. 2 (2004): 52–59; Matthias C. Rillig, and Peter D. Steinberg, "Glomalin Production by an Arbuscular

Mycorrhizal Fungus: A Mechanism of Habitat Modification?," *Soil Biology and Biochemistry* 34, no. 9 (2002): 1371–1374.

(49) Chang and Turner, "Ecological Succession in a Changing World," 506.

(50) Lindsay Chaney and Regina S. Baucom, "The Soil Microbial Community Alters Patterns of Selection on Flowering Time and Fitness-related Traits in *Ipomoea purpurea*," *American Journal of Botany* 107, no. 2 (2020): 186–194; Chang and Turner, "Ecological Succession in a Changing World," 503.

(51) James D. Bever, Thomas G. Platt, and Elise R. Morton, "Microbial Population and Community Dynamics on Plant Roots and Their Feedbacks on Plant Communities," *Annual Review of Microbiology* 66 (2012): 265–283; Tanya E. Cheeke, Chaoyuan Zheng, Liz Koziol, et al., "Sensitivity to AMF Species Is Greater in Late-Successional Than Early-Successional Native or Nonnative Grassland Plants," *Ecology* 100, no. 12 (2019): e02855; Liz Koziol and James D. Bever, "AMF, Phylogeny, and Succession: Specificity of Response to Mycorrhizal Fungi Increases for Late-Successional Plants," *Ecosphere* 7, no. 11 (2016): e01555; Liz Koziol and James D. Bever, "Mycorrhizal Feedbacks Generate Positive Frequency Dependence Accelerating Grassland Succession," *Journal of Ecology* 107, no. 2 (2019): 622–632.

(52) Guillaume Tena, "Seeing the Unseen," *Nature Plants* 5 (2019): 647.

(53) David P. Janos, "Mycorrhizae Influence Tropical Succession," *Biotropica* 12, no. 2 (1980): 56.

(54) Janos, "Mycorrhizae Influence Tropical Succession," 58; Tereza Konvalinková and Jan Jansa, "Lights Off for Arbuscular Mycorrhiza: On Its Symbiotic Functioning under Light Deprivation," *Frontiers in Plant Science* 7 (2016): 782; Maki Nagata, Naoya Yamamoto, Tamaki Shigeyama, et al., "Red/Far Red Light Controls Arbuscular Mycorrhizal Colonization via Jasmonic Acid and Strigolactone Signaling," *Plant and Cell Physiology* 56,

no. 11 (2015): 2100–2109; Maki Nagata, Naoya Yamamoto, Taro Miyamoto, et al., "Enhanced Hyphal Growth of Arbuscular Mycorrhizae by Root Exudates Derived from High R/FR Treated *Lotus japonicas*," *Plant Signaling & Behavior* 11, no. 6 (2016): e1187356.

(55) Janos, "Mycorrhizae Influence Tropical Succession," 60.

(56) Janos, "Mycorrhizae Influence Tropical Succession," 60.

(57) Marzena Ciszak, Diego Comparini, Barbara Mazzolai, et al., "Swarming Behavior in Plant Roots," *PLoS One* 7, no. 1 (2012): e29759; Adrienne Maree Brown, *Emergent Strategy: Shaping Change, Changing Worlds* (Chico, CA: AK Press, 2017), 6.

(58) Ciszak et al., "Swarming Behavior."

(59) Dale Kaiser, "Bacterial Swarming: A Re-examination of Cell-Movement Patterns," *Current Biology* 17, no. 14 (2007): R561–R570.

(60) Brown, *Emergent Strategy*, 12.

(61) Ciszak et al., "Swarming Behavior."

(62) Peter W. Barlow and Joachim Fisahn, "Swarms, Swarming and Entanglements of Fungal Hyphae and of Plant Roots," *Communicative & Integrative Biology* 6, no. 5 (2013): e25299-1.

(63) Ciszak et al., "Swarming Behavior."

(64) Barlow and Fisahn, "Swarms, Swarming, and Entanglements."

(65) André Geremia Parise, Monica Gagliano, and Gustavo Maia Souza, "Extended Cognition in Plants: Is It Possible?" *Plant Signaling & Behavior* 15, no. 2 (2020): 1710661.

(66) On prescribed fire, see Zwolinski, "Fire Effects on Vegetation and Succession," 18–24.

الفصل الخامس: مجتمع متنوِّع

(1) *Epigraph:* Andrea Wulf, *The Invention of Nature: Alexander von Humboldt's New World* (New York: Knopf, 2015), 125.

Cynthia C. Chang and Melinda D. Smith, “Resource Availability Modulates Above—and Below—Ground Competitive Interactions between Genotypes of a Dominant C4 Grass,” *Functional Ecology* 28, no. 4 (2014): 1041–1051, 1042; David Tilman, *Resource Competition and Community Structure* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1982).

(2) Philip O. Adetiloye, “Effect of Plant Populations on the Productivity of Plantain and Cassava Intercropping,” *Moor Journal of Agricultural Research* 5, no. 1 (2004): 26–32; Long Li, David Tilman, Hans Lambers, and Fu-Suo Zhang, “Plant Diversity and Overyielding: Insights from Belowground Facilitation of Intercropping in Agriculture,” *New Phytologist* 203, no. 1 (2014): 63–69; Zhi-Gang Wang, Xin Jin, Xing-Guo Bao, et al., “Intercropping Enhances Productivity and Maintains the Most Soil Fertility Properties Relative to Sole Cropping,” *PLoS ONE*, 9 (2014): e113984.

(3) Li et al., “Plant Diversity and Overyielding,” 2014.

(4) Venida S. Chenault, “Three Sisters: Lessons of Traditional Story Honored in Assessment and Accreditation,” *Tribal College* 19, no. 4 (2008): 15-16; Robin Wall Kimmerer, *Braiding Sweetgrass: Indigenous Wisdom, Scientific Knowledge and the Teachings of Plants* (Minneapolis, MN: Milkweed Editions, 2015), 132.

(5) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 128–140; K. Kris Hirst, “The Three Sisters: The Traditional Intercropping Agricultural Method,” *ThoughtCo*, May 30, 2019, https://www.thoughtco.com/three-sisters-american-farming-173034.

(6) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 131.

(7) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 130.

(8) Adetiloye, “Effect of Plant Populations on the Productivity of Plantain and Cassava Intercropping”; P. O. Aiyelari, A. N. Odede, and S. O. Agele, “Growth, Yield and Varietal Responses of Cassava to Time of Planting

into Plantain Stands in a Plantain/Cassava Intercrop in Akure, South-West Nigeria," *Journal of Agronomy Research* 2, no. 2 (2019): 1–16.

(9) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 131; Abdul Rashid War, Michael Gabriel Paulraj, Tariq Ahmad, et al., "Mechanisms of Plant Defense against Insect Herbivores," *Plant Signaling & Behavior* 7, no. 10 (2012): 1306–1320.

(10) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 140.

(11) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 132.

(12) Lindsay Chaney and Regina S. Baucom, "The Soil Microbial Community Alters Patterns of Selection on Flowering Time and Fitness-related Traits in *Ipomoea purpurea*," *American Journal of Botany* 107, no. 2 (2020): 186–194; Jennifer A. Lau and Jay T. Lennon, "Evolutionary Ecology of Plant–Microbe Interactions: Soil Microbial Structure Alters Selection on Plant Traits," *New Phytologist* 192, no. 1 (2011): 215–224; Marcel G. A. Van Der Heijden, Richard D. Bardgett, and Nico M. Van Straalen, "The Unseen Majority: Soil Microbes as Drivers of Plant Diversity and Productivity in Terrestrial Ecosystems," *Ecology Letters* 11, no. 3 (2008): 296–310.

(13) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 133; Catherine Bellini, Daniel I. Pacurar, and Irene Perrone, "Adventitious Roots and Lateral Roots: Similarities and Differences," *Annual Review of Plant Biology* 65 (2014): 639–666.

(14) Angela Hodge, "The Plastic Plant: Root Responses to Heterogeneous Supplies of Nutrients," *New Phytologist* 162, no. 1 (2004): 9–24.

(15) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 140.

(16) Henrik Hartmann and Susan Trumbore, "Understanding the Roles of Nonstructural Carbohydrates in Forest Trees—From What We Can Measure to What We Want to Know," *New Phytologist* 211, no. 2 (2016): 386–403.

(17) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 133; Janet I. Sprent, "Global Distribution of Legumes," in *Legume Nodulation: A Global Perspective* (Oxford: Wiley-Blackwell, 2009), 35–50; Jungwook Yang, Joseph W. Kloepper, and Choong-Min Ryu, "Rhizosphere Bacteria Help Plants Tolerate Abiotic Stress," *Trends in Plant Science* 14, no. 1 (2009): 1–4.

(18) Tamir Klein, Rolf T. W. Siegwolf, and Christian Körner, "Belowground Carbon Trade among Tall Trees in a Temperate Forest," *Science* 352, no. 6283 (2016): 342–344.

(19) Cyril Zipfel and Silke Robatzek, "Pathogen-Associated Molecular Pattern-Triggered Immunity: *Veni, Vidi*…?," *Plant Physiology* 154, no. 2 (2010): 551–554.

(20) Kevin R. Bairos-Novak, Maud C. O. Ferrari, and Douglas P. Chivers, "A Novel Alarm Signal in Aquatic Prey: Familiar Minnows Coordinate Group Defences against Predators through Chemical Disturbance Cues," *Journal of Animal Ecology* 88, no. 9 (2019): 1281–1290.

(21) Van Breugel et al., "Soil Nutrients and Dispersal Limitation."

(22) Robin Wall Kimmerer, "Weaving Traditional Ecological Knowledge into Biological Education: A Call to Action," *BioScience* 52, no. 5 (2002): 432–438.

(23) Chenault, "Three Sisters."

(24) See Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 134.

(25) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*; Jayalaxshmi Mistry and Andrea Berardi, "Bridging Indigenous and Scientific Knowledge," *Science* 352, no. 6291(2016): 1274–1275.

(26) Robin Wall Kimmerer, "The Intelligence in All Kinds of Life," *On Being with Krista Tippett*, original broadcast February 25, 2016, https://onbeing.org/programs/robin-wall-kimmerer-the-intelligence-in-all-kinds-of-life-jul2018/.

(27) Joseph A.Whittaker and Beronda L. Montgomery, “Cultivating Institutional Transformation and Sustainable STEM Diversity in Higher Education through Integrative Faculty Development,” *Innovative Higher Education* 39, no. 4 (2014): 263–275.

(28) Whittaker and Montgomery, “Cultivating Institutional Transformation.”

(29) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 132.

(30) Kimmerer, *Braiding Sweetgrass*, 58.

(31) For examples of the role of cultural competence in promoting successful outcomes in collaboration, see Stephanie M. Reich and Jennifer A. Reich, “Cultural Competence in Interdisciplinary Collaborations: A Method for Respecting Diversity in Research Partnerships,” *American Journal of Community Psychology* 38, no. 1–2 (2006): 51–62.

(32) Joseph A. Whittaker and Beronda L. Montgomery, “Cultivating Diversity and Competency in STEM: Challenges and Remedies for Removing Virtual Barriers to Constructing Diverse Higher Education Communities of Success,” *Journal of Undergraduate Neuroscience Education* 11, no. 1 (2012): A44–A51; Kim Parker, Rich Morin, and Juliana Menasce Horowitz, “Looking to the Future, Public Sees an America in Decline on Many Fronts,” Pew Research Center, March 2019, ch. 3, “Views of Demographic Changes,” https://www.pewsocialtrends.org/wp-content/uploads/sites/3/2019/03/US-2050_full_report-FINAL.pdf.

الفصل السادس: خطة للنجاح

(1) *Epigraph:* Dawna Markova, *I Will Not Die an Unlived Life: Reclaiming Purpose and Passion* (Berkeley, CA: Conari Press, 2000), 1.

Cynthia C. Chang and Melinda D. Smith, “Resource Availability Modulates Above—and Below—ground Competitive Interactions between

Genotypes of a Dominant C_4 Grass," Functional Ecology 28, no. 4 (2014): 1041–1051.

(2) Jannice Friedman and Matthew J. Rubin, "All in Good Time: Understanding Annual and Perennial Strategies in Plants," *American Journal of Botany* 102, no. 4 (2015): 497–499.

(3) Diederik H. Keuskamp, Rashmi Sasidharan, and Ronald Pierik, "Physiological Regulation and Functional Significance of Shade Avoidance Responses to Neighbors," *Plant Signaling & Behavior* 5, no. 6 (2010): 655–662.

(4) Katherine M. Warpeha and Beronda L. Montgomery, "Light and Hormone Interactions in the Seed-to-Seedling Transition," *Environmental and Experimental Botany* 121 (2016): 56–65.

(5) Lourens Poorter, "Are Species Adapted to Their Regeneration Niche, Adult Niche, or Both?" *American Naturalist* 169, no. 4 (2007): 433–442.

(6) Anders Forsman, "Rethinking Phenotypic Plasticity and Its Consequences for Individuals, Populations and Species," *Heredity* 115 (2015): 276–284; Robert Muscarella, María Uriarte, Jimena Forero-Montaña, et al., "Life-history Trade-offs during the Seed-to-Seedling Transition in a Subtropical Wet Forest Community," *Journal of Ecology* 101, no. 1 (2013): 171–182; Warpeha and Montgomery, "Light and Hormone Interactions."

(7) Carl Procko, Charisse Michelle Crenshaw, Karin Ljung, et al., "Cotyledon-generated Auxin Is Required for Shade-induced Hypocotyl Growth in *Brassica rapa*," *Plant Physiology* 165, no. 3 (2014): 1285–1301; Chuanwei Yang and Lin Li, "Hormonal Regulation in Shade Avoidance," *Frontiers in Plant Science* 8 (2017): 1527.

(8) Taylor S. Feild, David W. Lee, and N. Michele Holbrook, "Why Leaves Turn Red in Autumn. The Role of Anthocyanins in Senescing Leaves of Red-Osier Dogwood," *Plant Physiology* 127, no. 2 (2001): 566–574; Bertold

Mariën, Manuela Balzarolo, Inge Dox, et al., "Detecting the Onset of Autumn Leaf Senescence in Deciduous Forest Trees of the Temperate Zone," *New Phytologist* 224, no. 1 (2019): 166–176; Edward J. Primka and William K. Smith, "Synchrony in Fall Leaf Drop: Chlorophyll Degradation, Color Change, and Abscission Layer Formation in Three Temperate Deciduous Tree Species," *American Journal of Botany* 106, no. 3 (2019): 377–388.

(9) It appears that energy is invested in synthesizing anthocyanins at a time when it would seem prudent to limit energy spent on making new compounds because of their role in screening plant cells from phototoxicity during degreening; Feild et al., "Why Leaves Turn Red in Autumn"; Primka and Smith, "Synchrony in Fall Leaf Drop."

(10) Monika A. Gorzelak, Amanda K. Asay, Brian J. Pickles, and Suzanne W. Simard, "Interplant Communication through Mycorrhizal Networks Mediates Complex Adaptive Behaviour in Plant Communities," *AoB Plants* 7 (2015): plv050.

(11) Gorzelak et al., "Interplant Communication through Mycorrhizal"; David Robinson and Alastair Fitter, "The Magnitude and Control of Carbon Transfer between Plants Linked by a Common Mycorrhizal Network," *Journal of Experimental Botany* 50, no. 330 (1999): 9–13.

(12) David P. Janos, "Mycorrhizae Influence Tropical Succession," *Biotropica* 12, no. 2 (1980): 56–64; Leanne Philip, Suzanne Simard, and Melanie Jones, "Pathways for Below-ground Carbon Transfer between Paper Birch and Douglas-fir Seedlings," *Plant Ecology & Diversity* 3, no. 3 (2010): 221–233.

(13) Tamir Klein, Rolf T. W. Siegwolf, and Christian Körner, "Belowground Carbon Trade among Tall Trees in a Temperate Forest," *Science* 352, no. 6283 (2016): 342–344.

(14) Peng-Jun Zhang, Jia-Ning Wei, Chan Zhao, et al., "Airborne Host–Plant Manipulation by Whiteflies via an Inducible Blend of Plant Volatiles,"

Proceedings of the National Academy of Sciences 116, no. 15 (2019): 7387–7396.

(15) Sarah Courbier and Ronald Pierik, "Canopy Light Quality Modulates Stress Responses in Plants," *iScience* 22 (2019): 441–452.

(16) Scott Hayes, Chrysoula K. Pantazopoulou, Kasper van Gelderen, et al., "Soil Salinity Limits Plant Shade Avoidance," *Current Biology* 29, no. 10 (2019): 1669–1676; Wouter Kegge, Berhane T. Weldegergis, Roxina Soler, et al., "Canopy Light Cues Affect Emission of Constitutive and Methyl Jasmonate-induced Volatile Organic Compounds in *Arabidopsis thaliana*," *New Phytologist* 200, no. 3 (2013): 861–874.

(17) Beronda L. Montgomery, "Planting Equity: Using What We Know to Cultivate Growth as a Plant Biology Community," *Plant Cell* (2020): doi.org/10.1105/tpc.20.00589.

(18) I use the term "minoritized" for people or groups who "as a result of social constructs have less power or representation compared to other members or groups in society"; the term "minority" can simply indicate being smaller in number, rather than reflecting a systematic structure related to histories of oppression, exclusion, or other inequities. See I. E. Smith, "Minority vs. Minoritized: Why the Noun Just Doesn't Cut It," *Odyssey*, September 2, 2016, https://www.theodysseyonline.com/minority-vs-minoritize.

(19) Emma D. Cohen, and Will R. McConnell, "Fear of Fraudulence: Graduate School Program Environments and the Impostor Phenomenon," *Sociological Quarterly* 60, no. 3 (2019): 457–478; Mind Tools Content Team, "Impostor Syndrome: Facing Fears of Inad-equacy and Self-Doubt," *Mindtools*, https://www.mindtools.com/pages/article/overcoming-impostor-syndrome.htm; Sindhumathi Revuluri, "How to

Overcome Impostor Syndrome," *Chronicle of Higher Education*, October 4, 2018, https://www.chronicle.com/article/How-to-Overcome-Impostor/244700.

(20) Beronda L. Montgomery, "Mentoring as Environmental Stewardship," *CSWEP News* 2019, no. 1 (2019): 10–12.

(21) Montgomery, "Mentoring as Environmental Stewardship."

(22) Angela M. Byars-Winston, Janet Branchaw, Christine Pfund, et al., "Culturally Diverse Undergraduate Researchers' Academic Outcomes and Perceptions of Their Research Mentoring Relationships," *International Journal of Science Education* 37, no. 15 (2015): 2533–2553; Christine Pfund, Christine Maidl Pribbenow, Janet Branchaw, et al., "The Merits of Training Mentors," *Science* 311, no. 5760 (2006): 473–474; Christine Pfund, Stephanie C. House, Pamela Asquith, et al., "Training Mentors of Clinical and Translational Research Scholars: A Randomized Controlled Trial," *Academic Medicine* 89, no. 5 (2014): 774–782; Christine Pfund, Kimberly C. Spencer, Pamela Asquith, et al., "Building National Capacity for Research Mentor Training: An Evidence-Based Approach to Training the Trainers," *CBE-Life Sciences Education* 14, no. 2 (2015): ar24.

(23) Center for the Improvement of Mentored Experiences in Research, https://cimerproject.org/#/; National Research Mentoring Network, https://nrmnet.net/; Becky Wai-Ling Packard, mentoring resources, n.d., https://commons.mtholyoke.edu/beckypackard/resources/.

(24) Recent research and discussion have highlighted the need for culturally relevant practices in mentoring and leadership. Such practices recognize that individuals come from different backgrounds, with distinct cultural norms and practices. Mentors and leaders often have to increase their cultural competence to effectively support individuals

from a broad range of different cultures; Torie Weiston-Serdan, *Critical Mentoring: A Practical Guide* (Sterling, VA: Stylus, 2017), 44; Angela Byars-Winston, "Toward a Framework for Multicultural STEM-Focused Career Interventions," Career *Development Quarterly* 62, no. 4 (2014): 340–357; Beronda L. Montgomery and Stephani C. Page, "Mentoring beyond Hierarchies: Multi-Mentor Systems and Models," Commissioned Paper for National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine Committee on Effective Mentoring in STEMM (2018), https://www.nap.edu/resource/25568/Montgomery%20and%20Page%20-%20Mentoring.pdf.

(25) Weiston-Serdan, *Critical Mentoring*, 44; see also Joseph A. Whittaker and Beronda L. Montgomery, "Cultivating Diversity and Competency in STEM: Challenges and Remedies for Removing Virtual Barriers to Constructing Diverse Higher Education Communities of Success," *Journal of Undergraduate Neuroscience Education* 11, no. 1 (2012): A44–A51.

(26) Betty Neal Crutcher, "Cross-Cultural Mentoring: A Pathway to Making Excellence Inclusive," *Liberal Education* 100, no. 2 (2014): 26.

(27) Weiston-Serdan, *Critical Mentoring*, 14.

(28) George C. Banks, Ernest H. O'Boyle Jr, Jeffrey M. Pollack, et al., "Questions about Questionable Research Practices in the Field of Management: A Guest Commentary," *Journal of Management* 42, no. 1 (2016): 5–20; Ferrie C. Fang and Arturo Casadevall, "Competitive Science: Is Competition Ruining Science?" *Infection and Immunity* 83, no. 4 (2015): 1229–1233; Shina Caroline Lynn Kamerlin, "Hypercompetition in Biomedical Research Evaluation and Its Impact on Young Scientist Careers," *International Microbiology* 18, no. 4 (2015): 253–261; Beronda L. Montgomery, Jualynne E. Dodson, and Sonya M. Johnson, "Guiding the Way: Mentoring Graduate Students and Junior Faculty for Sustainable Academic Careers," *SAGE Open* 4, no. 4 (2014): doi: 10.1177/2158244014558043.

خاتمة

(1) *Epigraph:* Monica Gagliano, *Thus Spoke the Plant: A Remarkable Journey of Groundbreaking Scientific Discoveries and Personal Encounters with Plants* (Berkeley, CA: North Atlantic Books, 2018), 93.

Sonia E. Sultan, "Developmental Plasticity: Re-conceiving the Genotype," *Interface Focus* 7, no. 5 (2017): 20170009, 3.

(2) Monica Gagliano, Michael Renton, Martial Depczynski, and Stefano Mancuso, "Experience Teaches Plants to Learn Faster and Forget Slower in Environments Where It Matters," *Oecologia* 175, no. 1 (2014): 63–72; Evelyn L. Jensen, Lawrence M. Dill, and James F. Cahill Jr., "Applying Behavioral-Ecological Theory to Plant Defense: Light-dependent Movement in *Mimosa pudica* Suggests a Trade-off between Predation Risk and Energetic Reward," *American Naturalist* 177, no. 3 (2011): 377–381; Franz W. Simon, Christina N. Hodson, and Bernard D. Roitberg, "State Dependence, Personality, and Plants: Light-foraging Decisions in *Mimosa pudica* (L.)," *Ecology and Evolution* 6, no. 17 (2016): 6301–6309.

(3) Beronda L. Montgomery, "How I Work and Thrive in Academia—From Affirmation, Not for Affirmation," Being Lazy and Slowing Down Blog, September 30, 2019, https://lazyslowdown.com/how-i-work-and-thrive-in-academia-from-affirmation-not-for-affirmation/.

(4) Beronda L. Montgomery, "Academic Leadership: Gatekeeping or Groundskeeping?" *Journal of Values-Based Leadership* 13, no. 2 (2020); Beronda L. Montgomery, "Mentoring as Environmental Stewardship," *CSWEP News* 2019, no. 1 (2019): 10–12.

(5) Montgomery, "Academic Leadership"; Beronda L. Montgomery, "Effective Mentors Show up Healed," Beronda L. Montgomery website, December 5, 2019, http://www.berondamontgomery.com/mentoring/effective-mentors-show-up-healed/.

(6) Andrew J. Dubrin, *Leadership: Researching Findings, Practice, and Skills*, 4th ed. (Boston: Houghton Mifflin, 2004).

(7) Beronda L. Montgomery "Pathways to Transformation: Institutional Innovation for Promoting Progressive Mentoring and Advancement in Higher Education," Susan Bulkeley Butler Center for Leadership Excellence, Purdue University, Working Paper Series 1, no. 1, Navigating Careers in the Academy, 2018, 10–18, https://www.purdue.edu/butler/working-paper-series/docs/Inaugural%20Issue%20May2018.pdf.

(8) Miller McPherson, Lynn Smith-Lovin, and, James M. Cook, "Birds of a Feather: Homophily in Social Networks," *Annual Review of Sociology* 27, no. 1 (2001): 415–444.

(9) Montgomery, "Academic Leadership."

(10) Szu-Fang Chuang, "Essential Skills for Leadership Effectiveness in Diverse Workplace Development," *Online Journal for Workforce Education and Development* 6, no. 1 (2013): 5; Katherine Holt and Kyoko Seki, "Global Leadership: A Developmental Shift for Everyone," *Industrial and Organizational Psychology* 5, no. 2 (2012): 196–215; Nhu TB Nguyen and Katsuhiro Umemoto, "Understanding Leadership for Cross-Cultural Knowledge Management," *Journal of Leadership Studies* 2, no. 4 (2009): 23–35; Joseph A. Whittaker and Beronda L. Montgomery, "Cultivating Institutional Transformation and Sustainable STEM Diversity in Higher Education through Integrative Faculty Development," *Innovative Higher Education* 39, no. 4 (2014): 263–275; Joseph A. Whittaker, Beronda L. Montgomery, and Veronica G. Martinez Acosta, "Retention of Underrepresented Minority Faculty: Strategic Initiatives for Institutional Value Proposition Based on Perspectives from a Range of Academic Institutions," *Journal of Undergraduate Neuroscience Education* 13, no. 3 (2015): A136–A145; Torie Weiston-Serdan, *Critical Mentoring: A Practical Guide* (Sterling, VA: Stylus, 2017).

(11) Stephanie M. Reich and Jennifer A. Reich, “Cultural Competence in Interdisciplinary Collaborations: A Method for Respecting Diversity in Research Partnerships,” *American Journal of Community Psychology* 38, no. 1 (2006): 51–62.

(12) Montgomery, “Academic Leadership.”

(13) Montgomery, “Mentoring as Environmental Stewardship.”

(14) Montgomery, “Academic Leadership.”


هنـــداوي